

Г. Н. СОКОЛОВ*, канд. техн. наук, И. В. ЗОРИН*, С. Н. ЦУРИХИН*,
В. Н. АРИСОВА*, канд. техн. наук, В. И. ЛЫСАК*, д-р техн. наук

ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ НАПЛАВКА ТЕРМОСТОЙКОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ Ni₃Al НА СТАЛЬ С ЦЕЛЮ УПРОЧНЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ГОРЯЧЕГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТАЛЕЙ

Рассмотрены теплофизические и технологические вопросы электрошлаковой наплавки термостойкого сплава на основе алюминида никеля на сталь. Представлены результаты экспериментальных исследований процесса электрошлаковой наплавки в секционном кристаллизаторе с полым электродом и данные металлографических исследований структуры и свойств наплавленного металла.

Введение

Наплавленные детали металлургического оборудования и инструмент для деформирования нагретого свыше 1000°C металла: прессовые штампы, оправки трубопрокатных станков, ножи для резки проката и другие изделия работают в экстремальных условиях температурно-силового воздействия. В результате многократной импульсной пластической деформации и термических ударов в тонком (100–150 мкм) приконтактном слое наплавленного металла образуется диффузионная зона с гомогенной нестойкой к деформации структурой, интенсифицирующая его износ [1]. Поэтому ресурс инструментов, даже наплавленных высокостойким сплавом Hastelloy-C, недостаточен и составляет в лучшем случае всего несколько десятков минут суммарного времени активного контакта с обрабатываемым горячим металлом.

Повысить энергию активации диффузии примесных атомов в жаропрочном наплавленном металле можно с помощью предельного легирования никелевой матрицы ограниченно растворимыми в ней элементами: молибденом, вольфрамом, танталом, цирконием, углеродом [2]. Композиционная структура сплава такого типа, полученного электрошлаковой наплавкой порошковой проволокой [3], состоит из большого количества (до 40 об. %) моно- и сложных карбидов и интерметаллидов, с характерной направленностью кристаллитов и гетерогенным распределением фаз, что обеспечивает ему хорошее сопротивление высокотемпературной пластической деформации и достаточную сопротивляемость к разупрочнению в условиях температурно-силового воздействия. Однако из-за высокой стоимости промышленного применения сплавы такого типа не получили.

Более экономичными для наплавки на металлургический инструмент могут быть жаропрочные литейные сплавы с высоким содержанием алюминия, применяющиеся в авиакосмической промышленности как конструкционный материал для лопаток газотурбинных двигателей [4–7] (табл. 1, рис. 1). Высокая прочность при высоких температурах разработанных в США (NASA-Lewis Research Center, Cabot Corporation, Nutington Alloys Inc.) суперсплавов (табл. 1, сплавы 3–6) [7] достигается за счет большого содержания в них тугоплавких тяжелых металлов и кобальта. Но полученные спо-

* Волгоградский государственный технический университет.

Таблица 1

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЖАРОПРОЧНЫХ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ
ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ГТД**

Но- мер спла- ва	Марка сплава	Химический состав*, масс. %											Ис- точ- ник
		C	Al	Cr	Ti	Co	Mo	W	Zr	Nb	Ta	другие элементы	
1	ЖС6У-НК	0,16	5,5	9,0	2,5	9,5	1,8	10,5	–	1,0	–	–	[5]
2	ВКНА-1В-НК	0,05	8,6	5,7	1,6	–	3,1	3,5	–	–	–	1,1Fe; 0,45Hf; 0,8Si	[4]
3	WAZ-16	0,2	7,0	–	–	–	2,0	16,0	0,5	2,0	–	–	[7]
4	NX188	0,04	8,0	–	–	–	18,0	–	–	–	–	–	
5	TAZ-8В	0,125	6,0	6,0	–	5,0	4,0	4,0	1,0	1,5	8,0	0,004В	
6	TRW VI A	0,13	5,4	6,0	1,0	7,5	2,0	5,8	0,13	0,5	9,0	0,43Hf; 0,5Re; 0,02В	

* Остальное – никель.

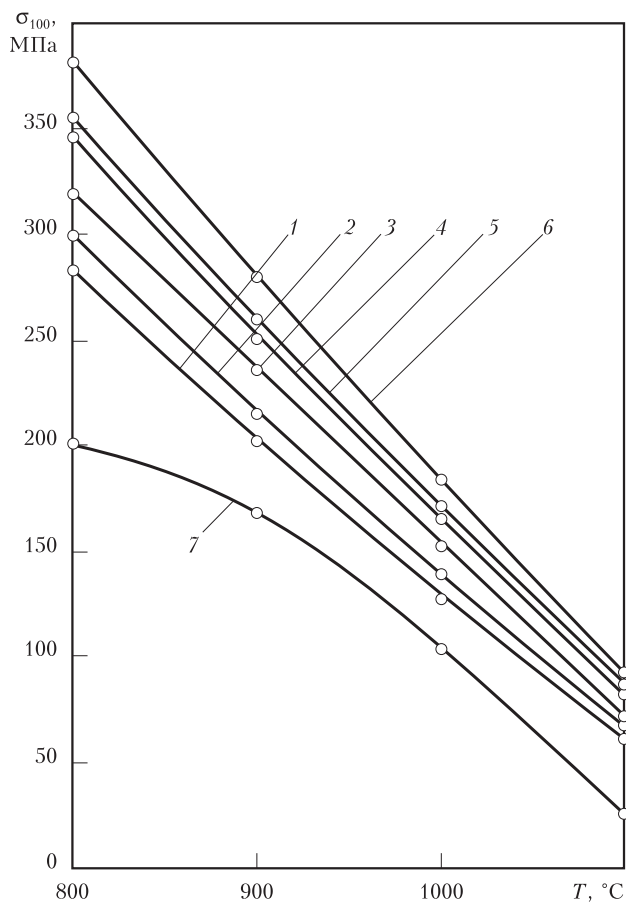


Рис. 1. Влияние температуры испытаний на предел длительной прочности σ_{100} жаропрочных сплавов ЖС6У-НК (1), ВКНА-1В-НК (2), WAZ-16 (3), NX188 (4), TAZ-8В (5), TRW (6), Hastelloy-C (7)

сособом высокоградиентной направленной кристаллизации двухфазные сплавы серии ВКНА [6] представляются более технологичными для наплавки. Основой в этих сплавах служит легированный интерметаллид Ni_3Al , в котором равномерно распределен (до 10 об. %) пластичный неупорядоченный γ -твердый раствор алюминия в никеле. Металл с такой структурой стоек против хрупкого разрушения при пониженных (300–500°C) и высоких (до 1200°C) температурах и против образования горячих трещин. При дуговой наплавке вероятность образования горячих трещин велика по причине неравномерного выделения γ' -фазы в условиях жесткого термомеханического цикла сварки [8]. Электрошлаковая наплавка имеет сравнительно мягкий термомеханический цикл и позволяет получить при высоком градиенте температур на фронте кристаллизации направленно кристаллизованный, хорошо металлургически обработанный металл с улучшенными сварочно-технологическими свойствами. Но традиционным способом электрошлаковой наплавки посредством плавления в низкотемпературном шлаке наплавочных материалов, содержащих в большом количестве легко- и тугоплавкие компоненты, трудно получить химически однородный наплавленный металл.

Цель настоящей работы — исследовать технологические особенности электрошлаковой наплавки жаропрочного сплава на основе Ni_3Al на сталь и изучить его структурно-фазовый состав и высокотемпературные свойства.

Материалы и методы исследования

Электрошлаковую наплавку на подложку из стали 40Х выполняли на флюсе АНФ-6. В качестве наплавочного материала использовали электронейтральный композиционный присадочный стержень диаметром 5 мм, состоящий из трубчатой (никель НП-2) оболочки, в которой размещены проволоки из технически чистых молибдена, вольфрама, тантала, а также нихрома НП-Х20Н80Т и шихты из смеси металлических порошков алюминия, циркония, бориды молибдена и графита марки ГСП. Преимущество композиционного присадочного стержня по сравнению с другими материалами в случае наплавки сложнолегированных сплавов, содержащих элементы с сильно различающимися температурами плавления, заключается в возможности получения высокой химической и физической однородности наплавленного металла. Достигается это за счет равномерного распределения в присадочном стержне легирующих компонентов при исключении сепарации легких и тяжелых металлических фракций в заполняющей его шихте. Состав присадочного стержня рассчитывали исходя из получения наплавленного металла, близкого по составу к сплавам серии ВКНА. Содержание никеля и алюминия в нем определяли по их стехиометрическому соотношению в Ni_3Al с учетом известного влияния на это соотношение легирующих элементов.

Температуру шлаковой ванны контролировали вольфраммолибденовыми и вольфрамрениевыми термопарами (ВР 10/20) с записью результатов на многоканальном потенциометре КСП-4. Для защиты спая термопар использовали керамические и графитовые колпачки. Твердость наплавленного металла при нормальной и высоких температурах определяли на приборе ТШ-2 твердосплавным бериллизированным шариком диаметром 5 мм при нагрузке 7,35 кН и выдержке 10 с. Микроструктуру исследовали на цифровом микроскопе «Olimpus VХ61». Фазовый состав металла определяли рентгеноструктурным анализом в медном излучении на дифрактометре

ДРОН-3М, со скоростью движения счетчика 1 град./мин и диапазоне углов отражения $2\theta = 20-120^\circ$.

Эксперимент

Экспериментальные наплавки новым способом выполняли в секционном токоподводящем кристаллизаторе, отличающемся от двухконтурной схемы [9] тем, что вместо плавящегося электрода применяют неплавящийся полый графитовый электрод (рис. 2). Диаметры электрода и отверстия в нем устанавливали из расчета получения устойчивого электрошлакового процесса при заданном объеме шлаковой ванны. Процесс осуществляли путем электродугового расплавления флюса в полости секционного токоподводящего кристаллизатора. В момент, когда высота шлака перекрывала изолятор и достигала 30% высоты токоведущей секции, возникал электрошлаковый процесс. Для обеспечения вращения шлака в горизонтальной плоскости искажали круговое магнитное поле в секционном кристаллизаторе посредством преломления магнитно-силовых линий в разрезанной токоведущей секции. Ре-

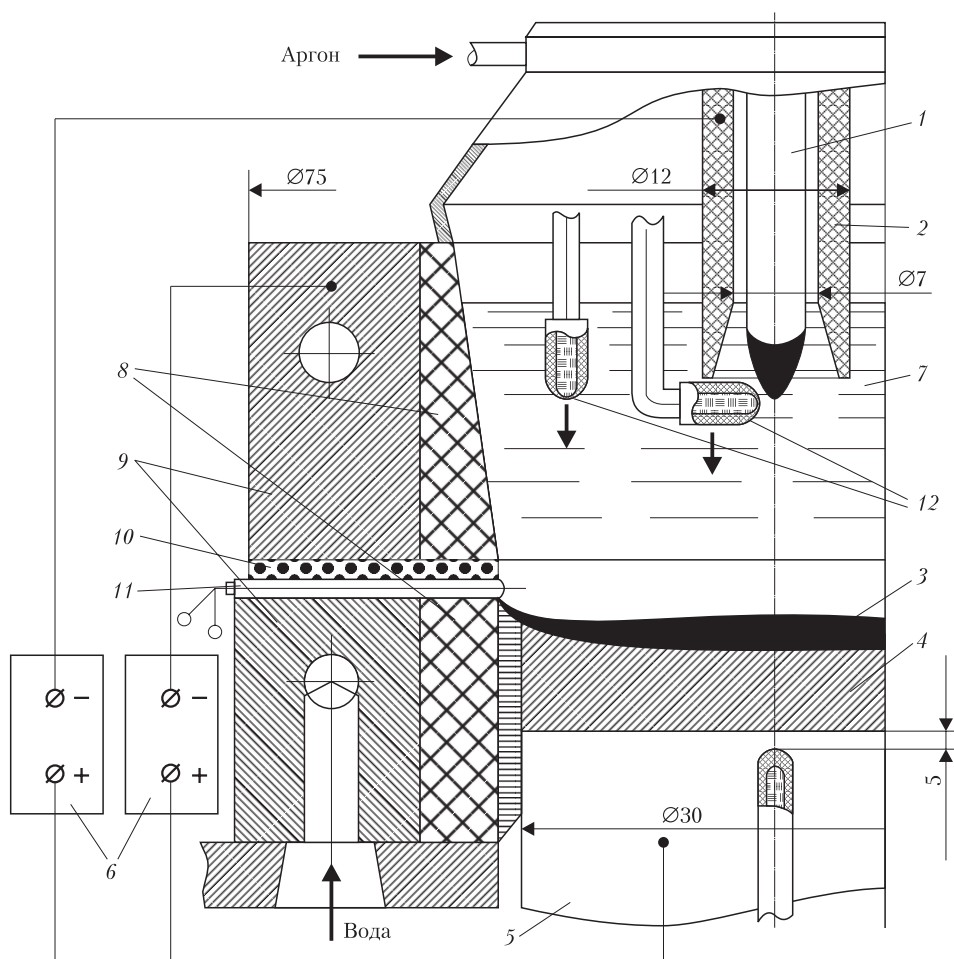


Рис. 2. Схема электрошлаковой наплавки в секционном токоподводящем кристаллизаторе: 1 – композиционный присадочный стержень; 2 – полый электрод; 3 – металлическая ванна; 4 – наплавленный металл; 5 – стальная затравка; 6 – источники постоянного тока; 7 – шлаковая ванна; 8 – графитовая вставка; 9 – формирующая и токоподводящая секции кристаллизатора; 10 – изолятор; 11 – терпара для контроля уровня металлической ванны

**ТВЕРДОСТЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СПЛАВОВ
С СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА, ТАНТАЛА И ЦИРКОНИЯ**

Номер сплава	Содержание элемента, масс.%			Твердость (НВ), МПа	
	С	Ta	Zr	при 25°C	при 1100°C
1 (базовый)	0,15	0	0	3700	280
2	0,3	0,5	0,5	3900	340
3	0,5	1,0	1,0	4150	390
4	0,6	1,5	1,5	4500	430
5	0,7	2,0	2,0	5000	450
6	0,8	2,5	2,5	5900	470

П р и м е ч а н и е. Содержание примесей: 0,15–0,25%Si; 0,1–0,2%Mn; 0,01–0,012%S; 0,004–0,0005%P; 2,5–3,5%Fe.

жим наплавки: напряжение и сила постоянного тока прямой полярности составляли: на шлаке в секционном токоподводящем кристаллизаторе 20 В и 150 А, с полого электрода — 17 В и 100 А. Расход охлаждающей воды в кристаллизаторе 1,2 л/мин, скорость подачи композиционного присадочного стержня в шлак через отверстие в электроде 0,5 см/с. Поверхность шлака обдували аргоном.

Электрофизические процессы в шлаковой ванне изучали на холодной модели [10]. Шлак имитировал подкрашенный графитовой крошкой раствор электролита. Характер его движения оценивали по мгновенному распределению линий тока на поверхности электролитической ванны, в ее глубине и по направлению объемной электромагнитной силы. Полученные результаты сравнивали с известными данными [11, 12]. Экспериментальную оценку тепловых процессов делали исходя из реальных термических циклов электрошлаковой наплавки в различных точках шлаковой ванны и в близко расположенной к границе сплавления зоне металла подложки.

При металлографических исследованиях экспериментальных сплавов их структуры и свойства сравнивали с базовым вариантом состава металла (0,15%С; 11%Al; 4,4%Cr; 3%W; 3%Mo; 0,03%B, остальное — Ni). Для увеличения сопротивления металла высокотемпературному нагружению сплав дополнительно легировали углеродом, танталом и цирконием (табл. 2).

Одновременное варьирование количества циркония и тантала в сплавах обусловлено различным их влиянием на фазовый состав наплавленного металла на основе Ni₃Al. Цирконий может входить в состав интерметаллической фазы Ni₇₇Al_{22,65}Zr_{0,25} [13] или κ -фазы CrNiMoZr, а тантал образует очень стойкие к растворению карбиды Ta₂C.

Результаты и их обсуждение

Исследованиями электрошлакового процесса в секционном токоподводящем кристаллизаторе с полым электродом установлено, что для повышения скорости и равномерности расплавления электронейтральных присадочных материалов, в том числе и композиционных, содержащих легко- и тугоплавкие компоненты, необходимо образовать под электродом в шлаке вблизи к его поверхности высокотемпературную область. Такая область может быть получена, если уменьшить площадь контакта электрода со шлаком. Это достигается за счет образования на торце электрода конусной полости, на глу-

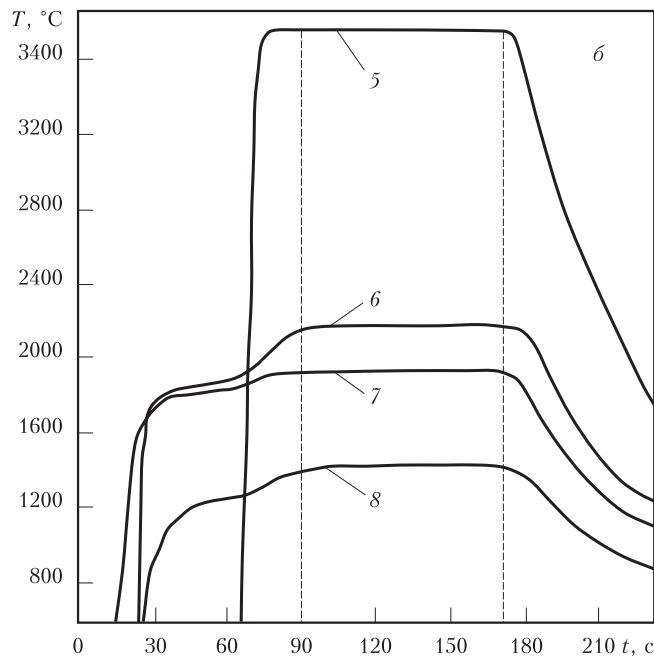
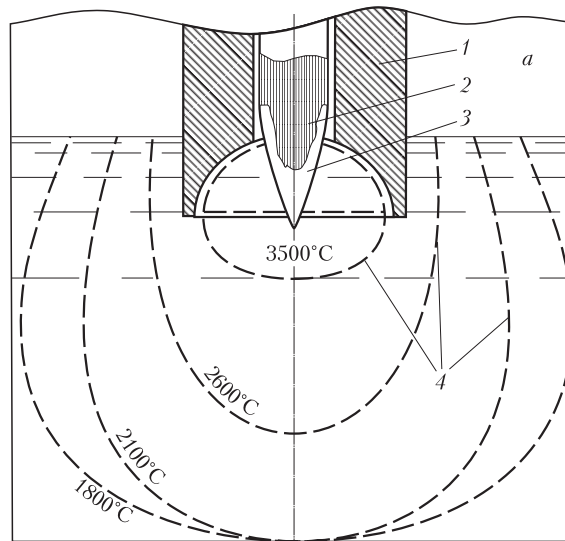


Рис. 3. Распределение температур в шлаковой ванне (а) и термические циклы в ходе наплавки (б):

1 – полый электрод; 2 – композиционный присадочный стержень; 3 – металлический расплав; 4 – изотермы в шлаке; 5 – в подэлектродной области; 6 – в области шлаковой ванны между электродом и стенкой токоведущей секции; 7 – в зоне, близкой к изолятору; 8 – вблизи условной линии сплавления

бину которой и следует погружать электрод в шлак. Исследованиями тепловых процессов при электрошлаковой наплавке с длительным (6–7 мин) пребыванием электрода в шлаке установлено, что конусная полость трансформируется в сферическую. Это свидетельствует о реальном распределении максимальной температуры на границе шлак–графит, где под действием электрокапиллярных явлений происходит растворение графита и углерод переходит в шлак. Контроль температуры и термических циклов в различных

точках шлаковой ванны показал, что ее температурное поле неоднородно (рис. 3, а, б). Изотермы с максимальной температурой — 3500°C, близкой к температуре кипения шлака, располагаются в локальном приэлектродном объеме, где и происходит плавление присадочного материала.

В подэлектродной области температура шлака несколько снижается, но остается достаточно высокой (до 2600°C) из-за действия интенсивных потоков в шлаке. Эти потоки, обусловленные объемными электромагнитными силами и свободной конвекцией, способствуют переносу тепла от теплового центра к остальному объему шлаковой ванны. В средней части шлаковой ванны, расположенной между полым электродом и стенкой кристаллизатора, нагрев шлака проходящим током невелик, но вследствие вращения его в горизонтальной плоскости температура здесь усредняется до 2100°C и по глубине шлаковой ванны существенно не изменяется. Для периферии шлаковой ванны характерна низкая температура (ниже 1600°C), что является следствием интенсивной теплоотдачи от шлака к относительно холодной секции кристаллизатора. В глубине шлаковой ванны на уровне, граничащем с нижней частью стенки токоведущей секции кристаллизатора, где плотность линий тока велика, температура повышается до 1800°C.

Совместный анализ тепловой ситуации в шлаковой ванне и результатов моделирования рассматриваемого процесса наплавки позволил разработать модель движения шлака и массопереноса в нем (рис. 4). Показано, что при наплавке в секционном токоподводящем кристаллизаторе с полым неплавящимся электродом в шлаке образуется торообразный высокотемпературный поток. Существование его обусловлено взаимным перекрытием высокотемпературных областей и взаимодействием тепловых потоков, образующихся как в зоне погружения полого электрода, так и в пристенной области токо-

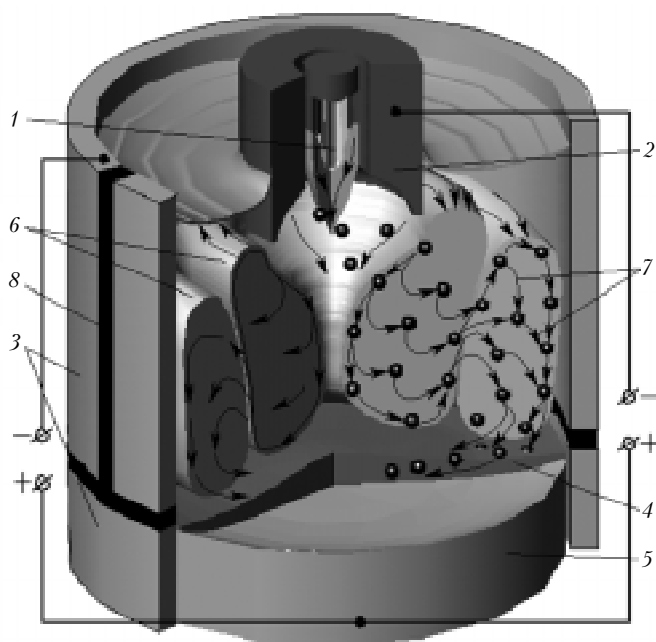


Рис. 4. Модель плавления композиционного стержня:

1–5 — аналогично обозначению на рис. 2; 6 — торообразные потоки в шлаковой ванне;
7 — направление движения металлических капель в шлаке; 8 — изолятор в токоведущей секции

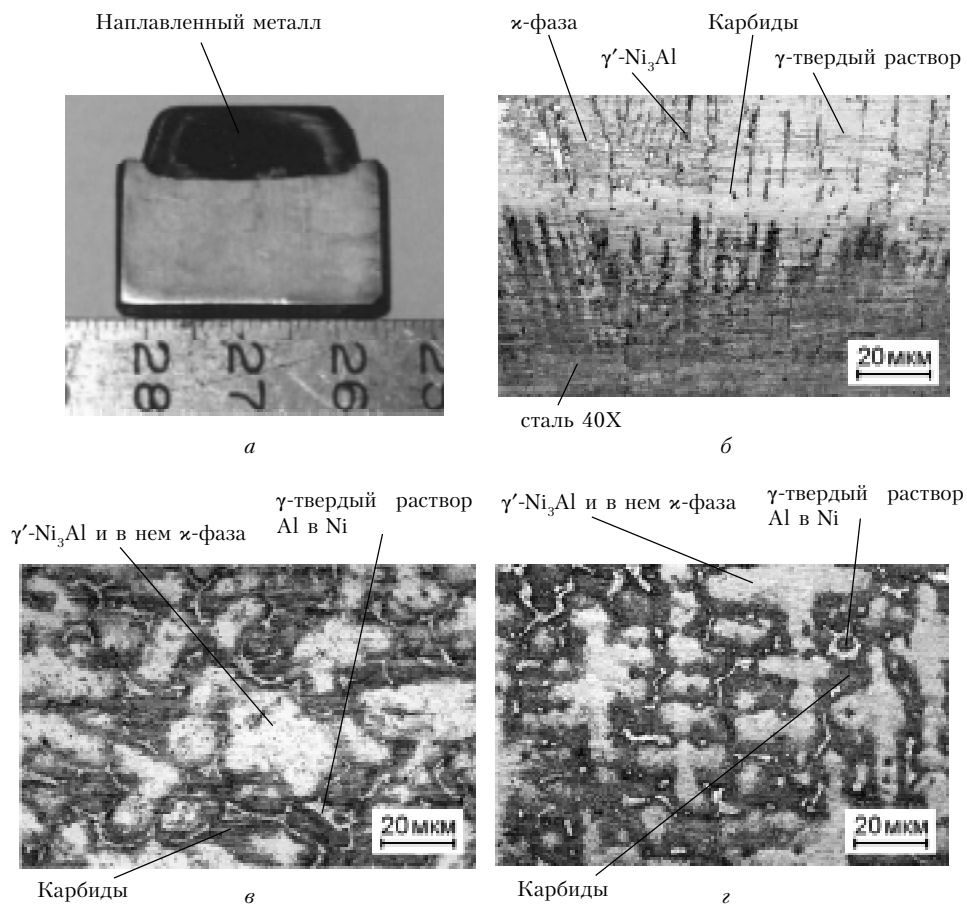


Рис. 5. Структура наплавленного металла:

a – макросечение наплавленного образца; *b* – переходная зона и наплавленный металл сплава 4. $\times 500$;
г – сплав 6. $\times 500$

ведущей секции кристаллизатора. С возникновением такого торообразного потока во вращающемся шлаке достигается равномерное выделение тепловой мощности и обеспечивается качественное протекание реакций металлургического взаимодействия в шлаке. Металлические капли с плавящихся присадочных материалов, попадая в быстро движущийся высокотемпературный поток, интенсивно перемешиваются, время их пребывания в шлаковой ванне увеличивается, а следовательно, повышается и степень полноты протекания реакций на границе шлак–металл. В результате длительного взаимодействия фаз достигается максимальная степень приближения к равновесному состоянию системы, при котором металлургические реакции проходят до конца.

Вращающаяся шлаковая ванна за счет сил трения сообщает вращение металлической ванне, что позволяет равномерно распределить капли по объему расплава и получить при последовательном их растворении высокооднородный по химическому составу наплавленный металл.

Исследованиями макро- и микроструктуры хорошо сформированного наплавленного металла (рис. 5, *a*) установлено, что в нем и в металле переходной зоны отсутствуют сварочные дефекты в виде горячих и холодных трещин, микропор и шлаковых включений. Условная линия сплавления

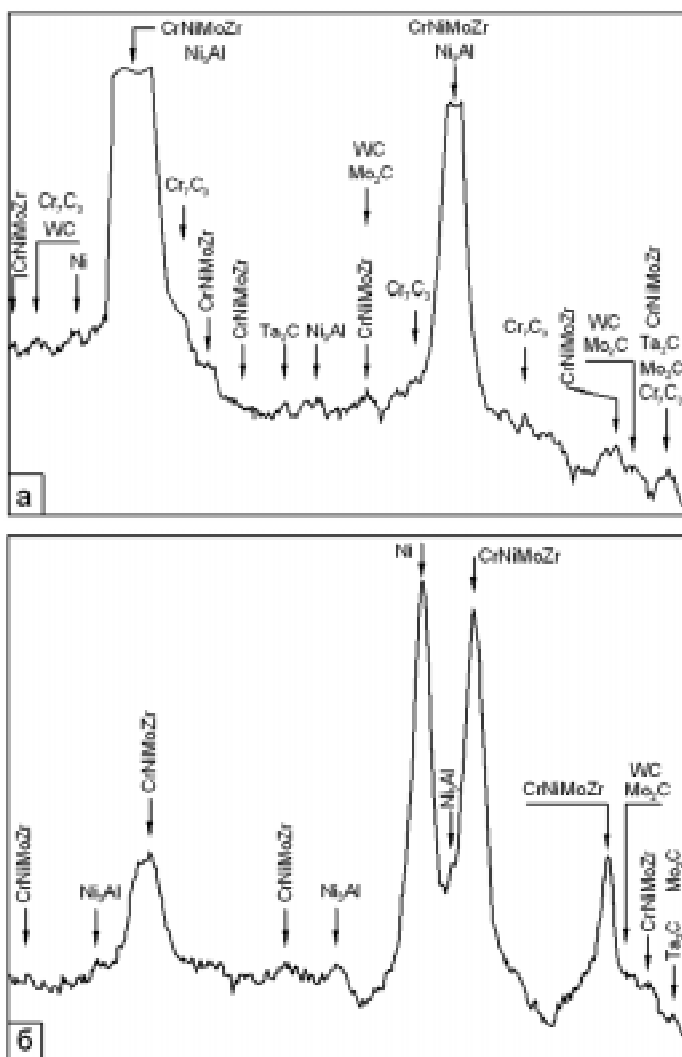


Рис. 6. Дифрактограммы наплавленного металла (табл. 2, сплав 4) (а) и переходной зоны (б) между ним и сталью 40Х

между наплавленным металлом и металлом подложки, близкая к прямолинейной, свидетельствует о небольшом давлении пордеромоторных сил в шлаке на расплав металлической ванны и дает возможность при небольшом проплавлении получить близкое к вертикальному направленное расположение равноосных кристаллитов, что способствует более полному рафинированию металла и повышению его износостойкости. Переходная зона с переменным химическим составом у границы сплавления с основным металлом имеет небольшую (80–100 мкм) протяженность. Даже при максимальном в рассматриваемых пределах содержании углерода, тантала и циркония в исследуемом наплавленном металле (табл. 2, сплав 6) в ней нет строчечных выделений карбидов, интерметаллидов и других диффузионных и кристаллизационных прослоек (рис. 5, б), способных влиять на усталостную прочность наплавленного изделия. Основная фаза в структуре переходной зоны

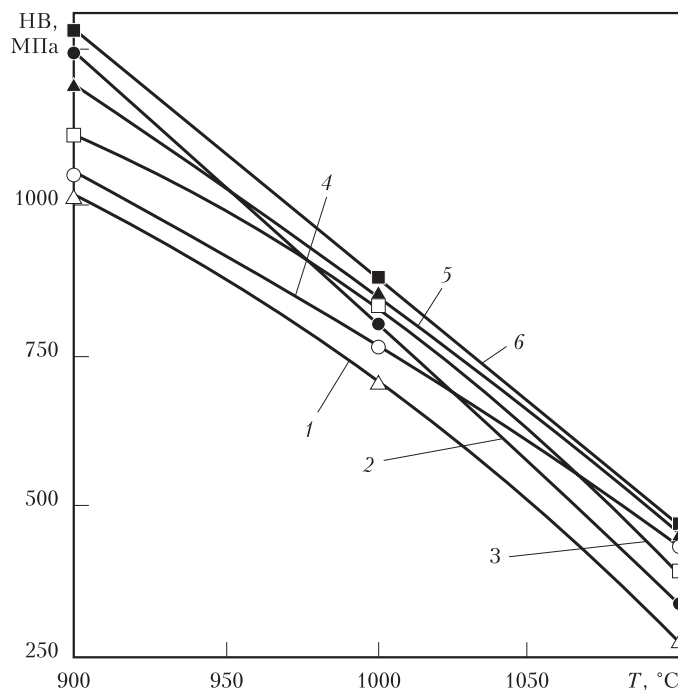


Рис. 7. Влияние содержания тантала и циркония на высокотемпературную твердость наплавленного металла:
1-6 — номера сплавов (см. табл. 2)

— твердый раствор на основе никеля, в ней имеется также небольшое количество α -фазы CrNiMoZr, около 30 об.% γ' -фазы Ni₃Al и карбиды Mo₂C, WC, Ta₂C (рис. 6, б).

В состоянии после наплавки структура наплавленного металла состоит преимущественно из легированного интерметаллида γ' -Ni₃Al (70 об.%) (рис. 5, в). В междендритных участках имеются выделения α -фазы CrNiMoZr (до 15–20 об.%) и содержится 5–7 об.% пластичной структурной составляющей γ -фазы (неупорядоченного твердого раствора алюминия в никеле). Наблюдаются также отдельные выделения γ' -Ni₃Al и карбидов WC, Mo₂C, Ta₂C и Cr₇C₃ (рис. 6, а). При увеличении содержания в наплавленном металле тантала и циркония с 0,5 до 2,5 масс. % каждого повышается твердость наплавленного металла при нормальной и высоких температурах (рис. 7, табл. 2), что можно объяснить заметным (до 40 об. %) увеличением количества упрочняющих фаз в структуре сплава 6 (рис. 5, г). Несмотря на дендритное строение, гетерофазный наплавленный металл обладает достаточной стойкостью к образованию трещин термической усталости. После провоцирующего термоциклирования (нагрев до 1000°C и охлаждение с этой температуры в воде до 100°C, 100 цикл) трещин не обнаружено ни в сплаве, ни в металле переходной зоны и непосредственно вблизи границы сплавления. Вероятная причина хорошей термической стойкости полученного электрошлаковой наплавкой сплава — довольно равномерное распределение по его объему вязкого неупорядоченного γ -твердого раствора алюминия в никеле, в котором происходит релаксация термических напряжений. Превышение исследованного диапазона содержания в наплавленном металле углерода, тантала и циркония приводит к возрастанию

доли упрочняющих фаз в структуре, выделяющихся по границам зерен, что снижает стойкость металла к образованию трещин термической усталости.

Натурные испытания наплавленных разработанным материалом носков водоохлаждаемых оправок, деформирующих нагретые до 1200°C стальные трубные заготовки, показали их повышенную (в 1,3–1,5 раза) износостойкость по сравнению с инструментом, наплавленным сплавом Hastelloy-C.

ВЫВОДЫ

1. Процесс электрошлаковой наплавки в секционном токоподводящем кристаллизаторе с полым электродом позволяет получить в подэлектродной области шлаковой ванны энергетический центр, в котором под действием высокотемпературного шлакового потока быстро и равномерно плавится композиционный наплавочный материал, содержащий туго- и легкоплавкие компоненты, и эффективно металлургически обрабатываются металлические капли и расплав сварочной ванны.

2. Мягкий термометформационный цикл электрошлаковой наплавки в секционном токоподводящем кристаллизаторе обеспечивает получение высококачественного наплавленного металла на основе алюминидов никеля, что достигается равномерным распределением по структуре пластичного γ -твердого раствора и упрочняющих фаз — интерметаллидов CrNiMoZr и карбидов WC, Mo₂C, Ta₂C и Cr₇C₃.

3. Благодаря повышенному сопротивлению наплавленного электрошлаковым способом металла на основе γ -Ni₃Al высокотемпературной деформации в сочетании с хорошей термической стабильностью структуры сплавы такого типа можно рекомендовать в качестве наплавочных с целью упрочнения тяжело нагруженного инструмента для горячего деформирования сталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гордань Г. Н., Соколов Г. Н., Кащенко Ф. Д. Характер разрушения наплавленного металла при импульсном термосиловом воздействии//Автоматическая сварка. – 1988. – № 10. – С. 59–62.
2. Шиняев А. Я. Диффузионные процессы в сплавах. – М.: Наука, 1975. – 226 с.
3. А. с. № 1389147 РФ, МКИ³ В23К 35/36//Бюллетень. – 2002. – № 24. – С. 412.
4. Сплавы на основе алюминидов никеля/В. П. Бунтушкин, Е. Н. Каблов, О. А. Базылева, Г. И. Морозов//Металловедение и термическая обработка металлов. – 1999. – № 1. – С. 32–34.
5. Скачков О. А. Перспективные жаростойкие и жаропрочные сплавы на основе интерметаллидов NiAl и Ni₃Al//Сталь. – 2002. – № 2. – С. 74–77.
6. Термостабильность структуры сплава на основе Ni₃Al и его применение в рабочих лопатках малоразмерных ГТД/К. Б. Попова, Н. К. Казанская, В. П. Бунтушкин и др.//Металлы. – 2003. – № 3. – С. 95–100.
7. High technology welding filler metals for the aerospace industry. – USA, Houston, Texas: Universal Wire Works Inc., 1996. – 22 p.
8. Modeling of the build up process for production of Ni–Al based high temperature wear resistant coatings/M. Zinigrad, V. Mazurovsky, D. Feng a. o.//Proceeding of ASM Materials Solution'99: International symposium on steel for fabricated structures. Cincinnati, Ohio, USA, 1999. – P. 230–233.
9. Двухконтурная схема электрошлакового переплава расходоуемого электрода/А. К. Цыкленко, И. А. Ланцман, Л. Б. Медовар и др.//Проблемы специальной электрометаллургии. – 2000. – № 3. – С. 16–20.
10. Исследование электрофизических и тепловых процессов при электрошлаковой наплавке в малогабаритном секционном кристаллизаторе/Г. Н. Соколов, В. И. Лысак, И. В. Зорин, С. Н. Цурихин//МАТИ – Сварка XXI века (Сборник трудов всероссийской науч.-техн. конф.). – 2004. – С. 81–83.
11. Томиленко С. В., Кусков Ю. М. Энергетические особенности электрошлакового процесса в токоподводящем кристаллизаторе//Автоматическая сварка. – 1999.

– № 2. – С. 51–53.

12. Д у д к о Д. А., К о м п а н Я. Ю., Щ е р б и н и н Э. В. К вопросу о физической природе движения расплава при электрошлаковом процессе//Сварочное производство. – 1990. – № 6. – С. 38–39.

13. L i u С. Т. Ni₃Al Aluminide//Alloys. Structural Intermetallics/Ed. R. Darolla. – The Mineral and Material Society, 1993. – P. 365–377.

УДК

Электрошлаковая наплавка на сталь термостойкого сплава на основе Ni₃Al с целью упрочнения инструмента для горячего деформирования сталей. С о к о л о в Г. Н., З о р и н И. В., Ц у р и х и н С. Н., А р и с о в а В. Н., Л ы с а к В. И.

Исследован новый способ наплавки в секционном токоведущем кристаллизаторе. Установлена возможность получения с помощью наплавки электронейтральным композиционным стержнем качественного сплава на основе алюминид никеля для упрочнения тяжело нагруженного металлургического инструмента, испытывающего циклическое температурно-силовое воздействие при температуре до 1100°C. Показано, что наплавленный металл, состоящий из основной γ' – Ni₃Al фазы, интерметаллидов CrNiMoZr, карбидов WC, Mo₂C, Ta₂C и Cr₇C₃ и γ -твердого раствора алюминия в никеле обладает достаточным уровнем сварочно-технологических и эксплуатационных свойств.

Ключевые слова: электрошлаковая наплавка, секционный токоведущий кристаллизатор, композиционный присадочный стержень, полый неплавящийся электрод, модель движения шлака и массопереноса, термические циклы, алюминид никеля, фазовый состав, интерметаллиды, карбиды, термоциклирование, высокотемпературная твердость.

UDC

Electroslag surfacing of Ni₃Al alloy for hardening the tool of hot deformation of steel. S o k o l o v G. N., Z o r i n I. V., T s u r i k h i n S. N., A r i s o v a V. N., L y s a k V. I.

New way electroslag surfacing in a section current carrying crystallizer were investigated. The opportunity of reception with the help surfacing an electroneutral composite core of a qualitative alloy on a basis aluminide nickel for hardening of heavy loaded the metallurgical tool testing cyclic temperature-force influence at temperature up to 1100°C were established. It is shown, that deposited the metal consisting of basic γ' -Ni₃Al phase, intermetallic of CrNiMoZr, carbides WC, Mo₂C, Ta₂C and Cr₇C₃ and γ - a solid solute of aluminium in nickel possesses a sufficient level welding and operational properties.

Key words: electroslag surfacing, section current carrying crystallizer, composite filler a core, non-consumable electrode, model of movement of slag and mass transfer, thermal cycles, aluminide nickel, intermetallic, phase composition, carbides, thermocycling, high-temperature hardness.