

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОКАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОЙ ПРОКАТКИ

О.А. Троицкий, В.И. Стащенко

Предложены способы модернизации прокатного оборудования для технологии электропластической прокатки. Приведены схемы подключения импульсного тока высокой плотности (ИТВП) к прокатному оборудованию. Установлены режимы ИТВП для прокатки заготовок из титановых сплавов и нержавеющей стали. Показана эффективность использования ИТВП при прокатке заготовок из металлов. Приведена схема опытно-промышленного образца прокатного стана для получения ленты из нержавеющей стали толщиной 0,3 мм без промежуточных отжигов и оксидной пленки при начальной толщине ленты 2 мм и ширине 100 мм.

Ключевые слова: модернизация, прокатка, импульсный ток, отжиг, эффективность, безопасность.

Введение

Хорошо известно, что при холодной обработке металлов давлением (ОМД) быстро повышается их сопротивление деформированию, которое обусловлено упрочнением металлов и возникновением нежелательных структурно-фазовых превращений, спровоцированных механическими перенапряжениями. В частности, в нержавеющей стали в процессе ОМД возникает мартенсит, поэтому практически после каждой операции (прокатки, волочения, вытяжки, штамповки) приходится проводить дорогостоящие и энергоемкие промежуточные аустенизирующие отжики в защитной атмосфере или в вакууме.

Заготовки, прошедшие холодную ОМД, характеризуются, как правило, небольшой величиной циклической долговечности и не имеют достаточного ресурса остаточной пластичности в связи с внутренней микроскопической дефектностью. Горячая ОМД заготовок сопровождается потерями металла на оксиды, а также их растрескиванием. Проведение промежуточных отжигов приводит к большим энергозатратам и значительно удлиняет технологический процесс.

Указанные недостатки существующих способов ОМД ухудшают качество получаемой продукции, способствуют быстрому изнашиванию инструмента, создают экологически неблагоприятные условия в цехах производства, особенно на среднем металлургическом переделе, что ведет к удорожанию получаемой продукции, снижению конкурентоспособности.

В последнее время научно обоснованы, экспериментально разработаны и реализованы различные способы совершенствования процессов ОМД, использующие ультразвуковые колебания, многовалковые калибры, роликовые волокна и т.д.

Вместе с тем большие возможности для совершенствования ОМД появляются при переходе в область более высокой пластичности при использовании электрического тока. Так, индукционный бесконтактный нагрев целесообразно применять для заготовок большого сечения и для операций, требующих нагрева до температуры не ниже 600 °С [1]. Местный электроконтактный нагрев выгоден для заготовок с площадью сечения менее 300 мм² [2, 3]. По экономическим показателям удельный расход электроэнергии при электроконтактном нагре-

ве на 35 % ниже, чем при нагреве ТВЧ [4]. Применение установок электроконтактного нагрева для теплого и горячего волочения бунтовой стали позволяет существенно сократить технологический цикл производства [5]. Однако в установках электроконтактного нагрева, разработанных ВНИИЭТО и ВНИИметиз, используется переменный ток промышленной частоты. Для изделия диаметром до 8 мм при нагреве до температуры 700 °С электрическая мощность установки электроконтактного нагрева составляет 190 кВт·А [6].

Импульсный ток высокой плотности (ИТВП) при безопасном напряжении позволяет существенно снизить сопротивление металла деформированию и повысить пластичность металла при сопутствующей температуре нагрева, не превышающей 200 °С.

Достоинства способа, использующего импульсный ток

Электропластическое действие тока возникает непосредственно в зоне деформации металла при условии, когда механическое напряжение заготовки превышает предел текучести [7, 8]. Наибольшее влияние на пластическую деформацию оказывает импульсный ток [9]. Это объясняется его действием на электронную и решеточную подсистемы металла. Импульсный ток высокой плотности посредством свободных электронов создает «давление» электронным ветром на дислокации и иные дефекты, участвующие в пластической деформации. Импульсы тока и напряжения (энергии) создают вибрации ионной решетки подобно действию ультразвука при пинч-эффекте (пондеромоторному действию тока под воздействием собственным импульсным магнитным полем в проводящей среде). Установлен также механизм депиннинга (открепления) дислокаций от парамагнитных примесей металла под действием собственного магнитного поля тока в результате спиновой конверсии и спин-зависимой реакции дислокаций, приводящей к существенному разупрочнению [10]. Все эти механизмы объединяет понятие «электропластический эффект», который действует при условиях деформации, в том числе при обработке металлов и сплавов давлением в зоне деформации [11–13].

Электропластический эффект в процессе ОМД проявляется в снижении сопротивления металла деформированию на 25–30 %, которое регулируется путем снижения потребле-

ния электроэнергии приводами станов на указанную величину, в увеличении пластичности металла, включая остаточную пластичность, на десятки процентов, а также в улучшении структуры, текстуры и фазового состава металла. При прокатке, волочении и вытяжке нержавеющей сталей практически полностью подавляется аустенитно-мартенситное фазовое γ - α -превращение, что исключает необходимость в дорогостоящих и энергоемких аустенизирующих отжигах заготовок.

Электропластический эффект в силу кратковременного действия импульсов тока (длительность 150–200 мкс) даже при больших амплитудных плотностях тока, достигающих в отдельных случаях 10^4 – 10^5 А/см² с частотой следования до сотен герц, не вызывает большого увеличения температуры нагрева заготовок (как правило, не превышает 200 °С) [14].

Таким образом, ИТВП создает мощное (мгновенно введенная энергия в зоне деформации металла достигает 10^3 – 10^4 Дж/см³) воздействие одновременно на электронную и решеточную подсистемы деформируемого металла, что вызывает указанные выше внешние и внутренние технологически важные эффекты.

Под влиянием электропластического эффекта в рабочей зоне стана между валками сопротивление материала деформированию уменьшается на 30–35 % в зависимости от амплитудной плотности тока и частоты следования импульсов. При этом в соответствии с третьим законом механики уменьшается сила давления заготовки на валки F_c .

На рис. 1 показаны изменения силовых параметров прокатки при использовании электропластического эффекта в зоне деформации металлов. Для каждого стана, имеющего определенную жесткость, характерна своя минимально возможная толщина длинномерной заготовки $h_{\min} = OA_1$. Получить заготовку меньшей толщины невозможно, поскольку при уменьшении этой толщины возникает явление подката, связанное с упругим прогибом валков. В этом случае начинается крутой нелинейный рост силы F_c в верхней части кривой 1. Именно эта часть кривой соответствует значениям толщины заготовки, выходящим за пределы 10 %-ного допуска.

В отличие от кривой 1 точный ход кривой 2 в настоящее время неизвестен вследствие недостаточности экспериментальных данных по электропластической прокатке.

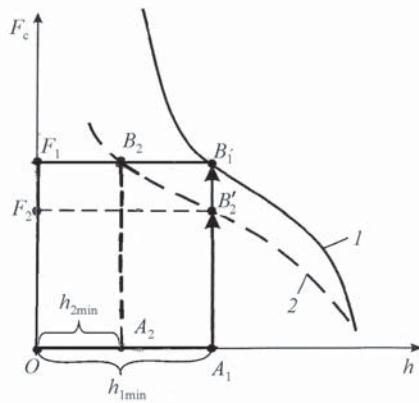


Рис. 1. Зависимость силы давления на валки F_c от толщины полосы h :

1 – при холодной прокатке; 2 – при электропластической прокатке

Пересечение перпендикуляра, восстановленного из точки A_1 , с кривой 1 дает точку B_1 . Отрезок OF_1 характеризует силу давления заготовки толщиной h_{1min} на валки. Прямая F_1B_1 пересекает кривую 2 в точке B_2 и дает точку A_2 на оси абсцисс, с новым существенно уменьшенным значением толщины полосы h_{2min} , которое можно получить, прокатав полосу на стане в условиях электропластической прокатки. При этом уровень силы давления заготовки на валки и упругая реакция стана сохраняются в пределах допустимых значений.

Пересечение кривой 2 с перпендикуляром A_1B_1 , восстановленным из точки A_1 для «нормальной» толщины полосы, еще не приводящей к отжатию валков, дает точку B'_2 и отрезок на оси ординат OF_2 , соответствующий уменьшенной в результате действия электропластического эффекта силе давления F_c . Величина снижения давления на валки составляет $\Delta F = F_1 - F_2$.

Таким образом, при электропластической прокатке снижается сопротивление деформированию материала заготовки на десятки процентов при сохранении валков и кинематики прокатной клетки. Кроме того, происходит уменьшение значений минимально возможной толщины длинномерной заготовки, которую можно прокатать на данном стане, что расширяет ассортимент получаемой на стане продукции.

Под влиянием импульсного тока в зоне деформации при прокатке на 25–30 % уменьшается сила давления на валки. Кроме того, изменяются геометрические параметры полосы или листа как в сторону увеличения ширины

на 15–20 % (при большой степени обжатия) и уменьшения длины заготовки, так и в сторону уменьшения ширины и увеличения длины (при малых единичных степенях обжатия) заготовки по сравнению с прокаткой без импульсного тока. Наконец, при уменьшении силы давления на валки под влиянием импульсного тока появляется возможность получения более тонких заготовок за счет подкатки.

Способы модернизации прокатных станов для технологии электропластической прокатки

В настоящее время ОМД с применением электропластического эффекта устраняет большую часть указанных выше недостатков существующих ОМД. Эта технология может быть использована при всех без исключения видах ОМД. Наиболее просто и эффективно технология электропластической прокатки реализуется при прокатке, штамповке и вытяжке тонколистового материала, а также при волочении проволоки среднего и тонкого размеров, при брикетировании и пакетировании некомпактных материалов (стружки, измельченного металлолома и т.д.).

Основными задачами при разработке указанной технологии являются повышение эффективности производственных процессов; снижение энергозатрат; улучшение качества металлургической продукции; повышение стойкости обрабатывающего инструмента и долговечности оборудования.

Для успешного решения задач ОМД с применением ИТВП создают генераторы импульсного тока, проектируют и создают системы контактов, не вызывающие электроэрозию инструмента и заготовок, системы автоматики для начала и окончания процесса электропластического деформирования металла, а также системы техники безопасности, хотя технология электропластической прокатки предусматривает применение в рабочей зоне безопасных электрических напряжений – не более 30 В. Амплитудная плотность тока в пределах 10^4 – 10^5 А/см² не наносит вреда здоровью оператора. Этим же условиям отвечает низкая частота (не более 1 кГц) используемого импульсного тока.

Для осуществления технологии электропластической прокатки проектирование прокатных станов с применением ИТВП, а также подготовка и модернизация существующего оборудо-

дования, включая большие станы, напольные, настольные и ручные валки, сводятся к одному из следующих вариантов.

- Один из деформируемых валков или одну из частей прокатной клетки (нижней или верхней) электрически изолировать от стана, чтобы можно было осуществлять подачу рабочего тока в направлении, перпендикулярном к направлению движения заготовки по схеме «от валка к валку через заготовку» (рис. 2, а). Такая схема подведения импульсного тока является наиболее эффективной для технологии электропластической прокатки и может применяться при прокатке листового материала и полос, а также при плющении проволоки в ленту на плющильных станах. Сопутствующая температура нагрева при этом минимальна (не более 100 °С), а единичные допустимые обжатия достигают десятков процентов.

- Подключить устройство переднего контакта качения стана для обеспечения токоподвода в зону деформации металла согласно схеме «от переднего контакта ко всей прокатной клетке в целом» (рис. 2, б). Такой способ занимает второе место по эффективности.

- Подключить устройство заднего контакта качения на выходе из стана для обеспечения токоподвода согласно схеме «от переднего к заднему контакту, исключая прокатную клетку» (рис. 2, в), что повысит сохранение деформирующих валков от прижогов током. Такой способ занимает третье место по эффективности.

- Включить в схему стана устройство сменного узла электроимпульсной обработки материала (на выходе стана) для электроимпульсной обработки материала после холодной прокатки, что в ряде случаев является технологически полезным приемом, уменьшающим анизотропию структуры листового материала и полосы, улучшающим их физико-механические характеристики и создающим универсальность прокатного стана.

- Включить в схему стана системы автоматики для исключения прижогов тока на контактах и деформирующих валках в начале и в конце процесса электропластической прокатки, а также для поддержания процесса электропластической прокатки путем установления обратной связи с генератором импульсного тока.

- Включить в схему стана устройство мощных подсоединений токнесущих коаксиальных кабелей к контактам качения на входе стана и его

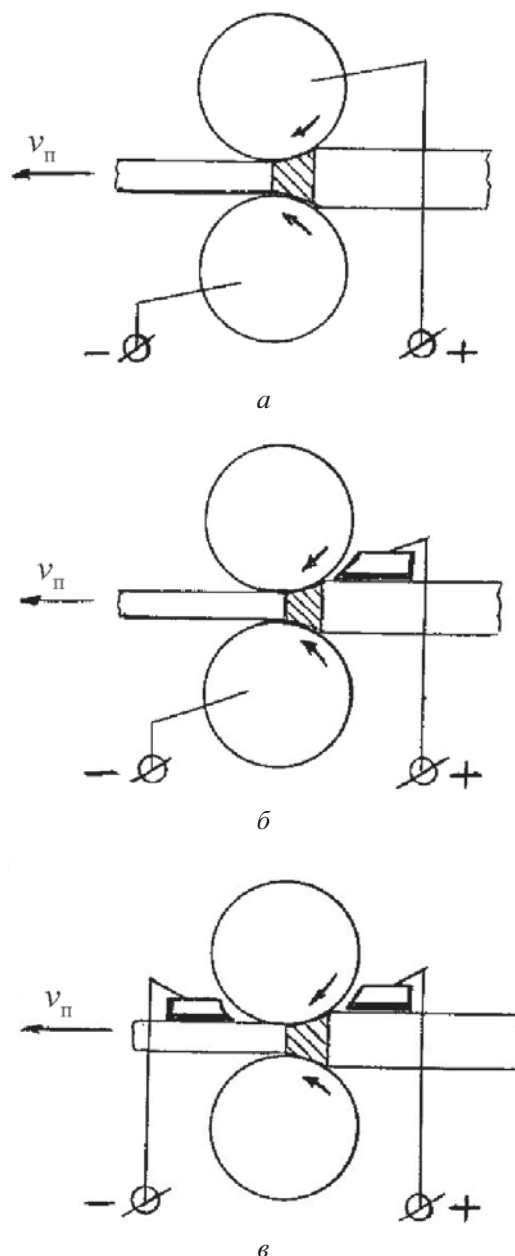


Рис. 2. Схемы подключения импульсного тока к зоне деформации металла при электропластической прокатке:

а – в направлении, перпендикулярном к направлению движения заготовки «от валка к валку через заготовку»; б – в направлении «от переднего контакта ко всей прокатной клетке в целом»; в – в направлении «от переднего контакта к заднему, исключая прокатную клетку»; v_n – скорость прокатки

выходе, а также к электрически изолированной от стана части прокатной клетки.

- Электрически изолировать приемодаточное устройство от стана с целью уменьшения наводок.

Особенности технологии электропластической прокатки

Подготовку и модернизацию прокатного стана осуществляют следующим образом. Конструктивных изменений в самом стане не производят. В подготовительный период на стане устанавливают две системы изолированных друг от друга контактов (скользящих, роликовых либо контактов гусеничного типа) до зоны деформации и после нее на расстоянии нескольких сантиметров от нее (рис. 2, в). В непосредственной близости от зоны деформации и систем контактов (на расстоянии не более 1,5 м) для обеспечения небольшой индуктивности цепи устанавливают генератор импульсного тока, который с помощью мощных гибких шин (площадь сечения не менее 100 мм²) или коаксиального кабеля подключают к токоподводящим контактам на стане.

Если конструктивные особенности прокатной клетки таковы, что с какой-либо стороны зоны деформации установка токоподводящих контактов затруднена, то с этой стороны допускается подключение источника тока непосредственно к прокатной клетке стана вблизи зоны деформации (см. рис. 2, б).

Осуществление технологии электропластической прокатки происходит следующим образом. После включения привода стана заготовка подается через первую систему контактов в рабочую клетку, настроенную на определенную степень обжатия заготовки. Когда передний конец заготовки пройдет зону деформации и достигнет второй системы контактов, замыкая внешнюю цепь, на деформируемую заготовку подается рабочий ток от генератора. В этот момент сила давления на валки, как правило, снижается на 25–30 %, что сопровождается уменьшением на указанную величину потребляемой приводом стана электроэнергии.

Если рабочий ток будет подан преждевременно, то возможны прижоги на втором контакте, а в случае технологии электропластической прокатки по режиму согласно рис. 2, а возможны прижоги на рабочих валках стана. В связи с этим на станах в процессе их модернизации кроме систем контактов (токоподводов) устанавливается система автоматики, исключающая возможность преждевременной подачи рабочего тока генератора в начале процесса электро-

пластической прокатки. Система автоматики обеспечивает также заблаговременное отключение рабочего тока по окончании указанного процесса, когда задний конец заготовки выходит из зоны контакта и могут опять возникнуть экстратоки с прижогами на контактах и рабочих валках, теперь уже связанными с размыканием электрической цепи.

Электропластическая прокатка образцов титановых сплавов

Электропластическую прокатку образцов титановых сплавов осуществляли по схеме, представленной на рис. 2, б. Эффективность применения ИТВП изучали при прокатке образцов титановых сплавов ВТ1-00, ВТ6, ВТ16. Образцы диаметром 4 мм и длиной 300 мм прокатывали с различными единичными степенями обжатия при изменении частоты, длительности и амплитуды импульсного тока.

В результате исследований установлено, что импульсный ток высокой плотности позволяет повысить общую степень обжатия при прокатке сплава ВТ16 до 72 % и исключить промежуточные отжиги. При определении оптимальных электрических параметров процесса электропластической прокатки исследуемых образцов титановых сплавов наибольший эффект наблюдали при полярности тока от «+» к «-» в направлении, соответствующем направлению прокатки; частоте импульсов около 600 Гц; длительности импульсов 180–250 мкс; амплитудной плотности тока 500–1000 А/мм².

Установленные электрические параметры прокатки позволили определить допустимые величины степени обжатия исследуемых образцов титановых сплавов. Так, для образцов сплава ВТ6 разовая степень обжатия достигает 57 %, тогда как без применения импульсного тока она составляет не более 15 %. Общая деформация заготовок при электропластической прокатке достигала 72 %. Механические характеристики образцов сплава ВТ6 в исходном состоянии представляли собой следующее: предел прочности 1000 МПа, относительная деформация $\delta=7,5$ %, а после электропластической прокатки соответственно 1100 МПа и 7 %.

Для проведения микроструктурных исследований использовали образцы* сплава ВТ6 в исходном состоянии, после отжига; после хо-

* Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории прокатки ВИЛС за образцы сплавов и проведенные микроструктурные исследования.

лодной прокатки со степенью деформации приблизительно 20 % (2,75 мм → 1,5 мм) и после электропластической прокатки со степенью деформации около 77 % (2,75 мм → 0,9 мм). Микрошлифы вырезали по толщине образца в направлении, соответствующем направлению прокатки.

Микроструктурный анализ показал, что в исходном состоянии наблюдается мелкозернистая структура, содержащая примерно 80 % частиц α -фазы и 20 % частиц β -фазы. Частицы β -фазы размером 0,5–2 мкм имеют в основном равноосную форму, но встречаются частицы и пластинчатой формы. По сечению образца частицы распределены неравномерно. Слой частиц α -фазы вблизи поверхности отсутствовал.

Образцы, изготовленные без применения электропластической прокатки, по всей толщине имели трещины в плоскостях, расположенных под углами 35°–55° к направлению прокатки. Это плоскости сосредоточенной деформации, в которых действуют максимальные касательные напряжения. Частицы β -фазы ориентированы в направлении, параллельном плоскости прокатки, и в направлении, соответствующем направлению прокатки.

В образцах, изготовленных с применением электропластической прокатки, несмотря на более высокую степень обжатия, трещины от-

сутствовали. Частицы β -фазы толщиной менее 1,5 мкм и длиной до 2 мкм распределены достаточно равномерно по сечению образца. В отдельных опытах была определена сопутствующая температура нагрева образцов при электропластической прокатке, которая не превышала 200 °С.

Прокатный стан для получения ленты из нержавеющей стали*

Параметры режимов импульсного тока для прокатки образцов из нержавеющей стали были следующими: амплитудная плотность тока 10^4 – 10^5 А/см², длительность импульсов 150–200 мкс, частота следования импульсов 500–800 Гц. Эти режимы сходны с режимами для образцов титановых сплавов.

На рис. 3 приведена схема образца опытно-промышленного стана для получения ленты из нержавеющей стали с использованием электропластического эффекта в зоне деформации металла.

Прокатный стан обеспечил прокатку ленты из нержавеющей стали от начальной до конечной толщины без промежуточных отжигов. Появления оксидной пленки на поверхности ленты в процессе ее прокатки не допускалось. Максимальная скорость прокатки не превышала 60 м/с (для лент толщиной 0,3 мм). Ширина

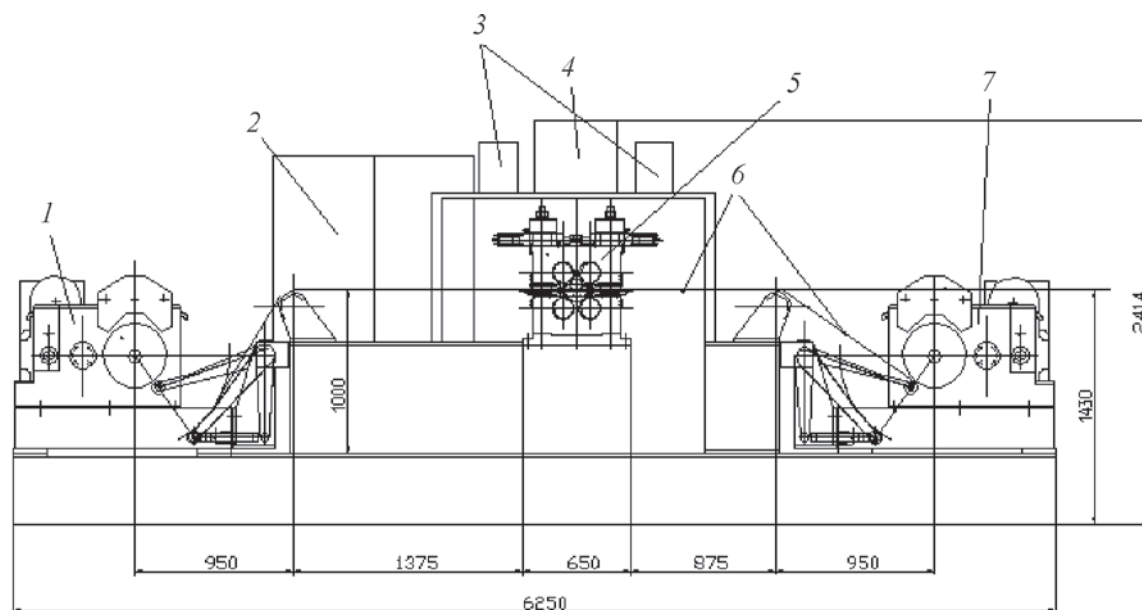


Рис. 3. Схема стана (без пульта управления, шкафов и стоек электропитания систем стана):

1, 7 – левая и правая моталки; 2 – генератор импульсов; 3 – импульсные трансформаторы; 4 – выпрямительный блок; 5 – клеть; 6 – прокатываемая лента

* Авторы выражают благодарность С.К. Киму за создание образца опытно-промышленного стана.

ленты составляла 100 мм, начальная толщина ленты 2 мм, конечная толщина ленты 0,3 мм с погрешностью прокатки не более 0,01 мм. Суммарная потребляемая электрическая мощность составляла порядка 200 кВт·А.

Прокатный стан должен включать в себя следующее оборудование и системы:

- технологическое оборудование (прокатную клеть, устройства подачи-приема ленты (моталки), устройства жидкостного охлаждения рабочих валков и ленты, электроконтактные устройства для подведения тока к прокатываемой ленте);

- гидравлическое оборудование (основную и вспомогательную гидросистемы);

- электротехническое оборудование (главный привод, приводы устройств подачи-приема ленты (моталки), шкафы для подачи электропитания на приводы и источники питания для электропластификации ленты);

- систему управления и измерений (пульт управления, датчики измерения положения элементов клетки и режимов прокатки).

Основное технологическое оборудование прокатного стана включает в себя:

- шестивалковую схему прокатной клетки с двумя парами приводных опорных валков и парой рабочих валков;

- устройство приема-подачи ленты (моталки), которое должно обеспечивать работу стана в реверсивном режиме при заданном натяжении ленты. Моталки должны быть оснащены устройствами съема прокатанной ленты, а также рычажными прижимами, препятствующими «распушению» прокатанной ленты. Основные характеристики моталок: диаметр барабана 400 мм; максимальный диаметр рулона 1000 мм; максимальное усилие натяжения ленты 8 кН;

- основание для фиксации агрегатов (клетки и моталок), которое было выполнено в виде плоской сварной рамы, обеспечивающей необходимую точность взаимного расположения агрегатов прокатного стана без дополнительного крепления их к бетонному полу;

- электроконтактные устройства, обеспечивающие возможность подведения тока к прокатываемой ленте согласно схемам, приведенным на рис. 2, а, б.

Предусматривалось охлаждение контактов и рабочих валков.

Гидравлическое оборудование прокатного стана включает в себя две автономные гидрав-

лические системы: основную, обеспечивающую работу гидроприводов прокатной клетки и моталок, и вспомогательную, обеспечивающую смазку подшипников опорных валков и их охлаждение.

Одним из наиболее ответственных элементов прокатного стана является источник питания – генератор импульсного тока. Напряжение питания генератора импульсного тока составляет 380/220 В при промышленной частоте 50 (60) Гц; импульсы тока имеют колоколообразную форму; максимальные амплитуды тока при номинальной нагрузке достигают 45 кА; длительность импульсов тока по основанию импульсов при номинальной нагрузке составляет 200 мкс; частота повторения импульсов регулируется в пределах 1–1000 Гц; охлаждение – воздушно-принудительное.

Заключение

Применение импульсного тока при электропластической прокатке имеет следующие преимущества перед применением холодной прокатки:

- повышение производительности станов в 1,5 раза;

- устранение операции промежуточных отжигов;

- уменьшение анизотропии материала;

- уменьшение энергопотребления приводами прокатных станов на 25–30 %;

- повышение остаточной пластичности заготовок;

- увеличение длины заготовок на 10–15 % за счет сокращения их ширины;

- подавление нежелательных структурно-фазовых превращений.

Таким образом, экспериментально подтверждена эффективность прокатки образцов титановых сплавов и получения ленты из нержавеющей стали без промежуточных отжигов при использовании ИТВП с существенным снижением трудоемкости изготовления полуфабрикатов.

Список литературы

1. Головин Г.Ф., Зимин Н.В. Технология термической обработки металлов с применением индукционного нагрева. – М.: Машиностроение, 1979. – 119 с.
2. Коврев Г.С. Электроконтактный нагрев при обработке цветных металлов. – М.: Металлургия, 1975. – 306 с.

3. Гриднев В.Н., Гаврилюк В.Г., Мешков Ю.Я. Прочность и пластичность холоднодеформируемой стали. – Киев: Наукова думка, 1974. – 231 с.
4. Тюрин А.В., Дианов А.И. Электроконтактный нагрев стальных заготовок // Сталь. 1979. № 4. С. 298–303.
5. Торчинский Е.М., Хасин Г.А., Чукина В.Г. Теплое волочение бунтовой стали // Сталь. 1979. № 11. С. 1054–1057.
6. Романов Д.И. Электроконтактный нагрев металлов. – М.: Машиностроение, 1965. – 250 с.
7. Троицкий О.А. Электромеханический эффект в металлах // Письма в ЖЭТФ. 1969. Т. 2. № 10. С. 18–22.
8. Троицкий О.А., Розно А.Г. Электропластическая деформация в металлах // Физика твердого тела. 1970. Т. 12. № 1. С. 203–209.
9. Сташенко В.И., Троицкий О.А. Влияние формы и режимов прохождения импульсов тока на пластическую деформацию кристаллов цинка // ДАН СССР. 1982. Т. 267. С. 638–640.
10. Molotskii M., Fleurov V. Magnetic effects in electroplasticity of metals // Physical Review B. 1991. Vol. 52. No. 22. P. 311–317.
11. Троицкий О.А., Баранов Ю.В., Авраамов Ю.С., Шляпин А.Д. Физические основы и технологии обработки современных материалов (теория, технологии, структура и свойства). В 2 т. – М. – Ижевск: Изд-во АНО ИКИ, 2004. – Т. 1. – 563 с.; т. 2. – 467 с.
12. Okazaki K., Kagava M., Conrad H. Electroplastic effect in metals // Scr. Met. 1978. Vol. 12. No. 11. P. 1063–1068.
13. Okazaki K., Kagava M., Conrad H. Additional results on the electroplastic effect in metals // Scr. Met. 1979. Vol. 13. No. 4. P. 277–280.
14. Баранов Ю.В., Троицкий О.А., Авраамов Ю.С., Шляпин А.Д. Физические основы электроимпульсной и электропластической обработок и новые материалы: монография. – М.: Изд-во МГИУ, 2001. – 844 с.

Материал поступил в редакцию 10.10.2012

ТРОИЦКИЙ Олег Александрович

E-mail: oatroitsky@rambler.ru
Тел.: (495) 334-71-14,
(903) 687-86-76 (моб.),
(499) 135-30-72

Доктор технических наук, профессор Института машиноведения им А.А. Благонравова РАН. Сфера научных интересов – материаловедение и физика твердого тела: действие электрического тока и внешнее энергетическое воздействие, включая СВЧ-излучение и радиактивное излучение, на физико-механические свойства материалов, особенно металлов. Автор более 350 статей и докладов, 8 монографий, 10 патентов и авторских свидетельств.

СТАШЕНКО Владимир Иванович

E-mail: ssv568@mail.ru
Тел.: (499) 135-55-18

Кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. Сфера научных интересов – физическое материаловедение, влияние энергетических воздействий на физико-механические свойства материалов. Автор более 130 научных работ.