

Результаты испытания на ползучесть показали, что термическая обработка по оптимальному режиму увеличивает время до разрушения на 20% (рисунок 1, з), а скорость установившейся ползучести уменьшает на 20%. Это можно связать с тем, что выделившиеся во время отпуска при 300°C карбонитриды Nb(C,N) размером 6 нм, эффективно закрепляют дислокации (рисунок 1, в), тем самым, препятствуя их движению и упрочняя сталь.

Выводы:

1) Отпуск при температуре 300°C приводит к выделению мелкодисперсных карбонитридов Nb(C,N), которые эффективно упрочняют сталь.

2) Термическая обработка стали 10X9B1M1ФБР по оптимальному режиму позволяет на 20% увеличить время до разрушения при испытаниях на ползучесть при температуре 650°C по сравнению со сталью обработанной по стандартному режиму.

Работа выполнена на оборудовании Центра коллективного пользования научным оборудованием Белгородского государственного университета, в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы, государственного контракта № П524.

Список литературы

1. Kaybyshev R.O., Skorobogatykh V.N., Shchenkova I.A. New martensitic steels for fossil power plant: Creep resistance // Physics of Metals and Metallography. – 2010. – Vol.109. – P. 186-200.
2. Landolt-Bornstein. Creep properties of heat resistant steels and superalloys Group VIII // Advanced Mat. Tech. 2003. Vol. 2B. P. 144-149.
3. Ланская К.А. Высокохромистые жаропрочные стали. М.: Металлургия. 1976. 216 стр.
4. Лашко Н.Ф., Заславская Л.В., Козлова М.Н., Морозова Г.И., Сорокина К.И., Яковлева Е.Ф. Физико-химический фазовый анализ сталей и сплавов. М.: Металлургия. 1978. 335 стр.
5. Helis L., Toda Y., Hara T., Miyazaki H., Abe F. Effect of cobalt on the microstructure of tempered martensitic 9Cr steel for ultra-supercritical power plants // Mater.Sci.Eng. 2009 Vol.A510-511 P.88-94.
6. Vaillant J.C., Vandenberghe B., Hahn B., Heuser H., Jochum C. T/P23, 24, 911 and 92: New grades for advanced coal-fired power plants-properties and experience // Inter. J. Press. Vess. Pip. 2008. Vol. 85. P. 38-46.
7. Vismanathan R., Henry J.F., Tanzosh J., Stanko G. U.S. Program on materials technology for ultra-supercritical coal power plants // J. Mater. Eng. Perfor. 2005. Vol. 14. № 3. P. 281-292.
8. Abe F., Taneike M., Sawada K. Alloy design of creep resistant 9Cr steel using a dispersion of nano-sized carbonitrides // Inter. J. Press. Vess. Pip. 2007. Vol. 84. P. 3-12.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИСТОВЫХ СТАЛЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОНКОСТЕННЫХ ЭЛЕКТРОСВАРНЫХ ТРУБ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИХ

Прудникова О. Р., Щербаков Э. Д.

Белорусский национальный технический университет, Минск, РБ

e.o.r@mail.ru

Традиционно широкое применение тонкостенные электросварные трубы находят при изготовлении изделий из труб, таких как детали газовых плит и холодильников, автомобилей и велосипедов, мебели, а также других бытовых и примышленных това-

ров. Эволюция представлений о качестве производимых товаров диктует необходимость обеспечения более высокого уровня свойств труб, как исходного материала.

Для производства тонкостенных электросварных труб используют тонколистовой прокат. При необходимости высоких степеней деформации в ходе изготовления изделий из труб основными требованиями, предъявляемыми к прокату, являются штампуемость и высокое качество поверхности после деформации (отсутствие полос скольжения), которое необходимо для нанесения защитного покрытия. Как правило, для таких деталей прочность проката имеет вторичное значение по сравнению с технологической пластичностью.

Поэтому в качестве материала для изготовления труб традиционно используют низкоуглеродистые качественные стали с содержанием углерода 0,07...0,10% (мас.), которые имеют относительно высокую пластичность и могут подвергаться значительной деформации. Сталь поставляют на трубные заводы в виде рулонов холоднокатаного металла толщиной 0,4–2,0мм в соответствии с требованиями ГОСТ 9045-93 следующих категорий вытяжки: ВОСВ, ВОСВ-Т, ОСВ, СВ (из стали 08Ю); ВГ (из стали 08кп, 08пс; допускается изготовление из стали марки 08Ю). Химический состав сталей приведен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав проката, согласно требованиям ГОСТ 9045-93 «Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки»

Марка стали	Массовая доля элементов. %					
	C	Mn	S	P	Si	Al
	не более					
08Ю	0,07	0,35	0,025	0,020	0,03	0,02– 0,07
08пс	0,09	0,45	0,030	0,025	0,04	
08кп	0,10	0,40	0,030	0,025	0,03	

Однако обычные низкоуглеродистые стали обладают существенным недостатком – наличием эффекта текучести и склонностью к деформационному старению (1).

Первое проявляется в образовании при холодной деформации протяженных поверхностных дефектов – полос скольжения, а второе - в значительном падении пластичности (относительного удлинения) и увеличении прочности (временного сопротивления разрыву) проката. Причиной обоих явлений является закрепление дислокаций атмосферами Коттрелла, которые образуют атомы внедрения (interstitial), в первую очередь, углерод и азот (2). До недавнего времени единственным способом борьбы с этими явлениями было легирование алюминием, который связывает азот в оксиды и нитриды. Однако это не гарантирует полного устранения эффекта старения, поскольку для закрепления дислокаций достаточно $(C + N) > 0,0002$ % (мас) (3). В свою очередь, необходимость введения карбидо- и нитридообразующих элементов приводит к снижению вытяжных свойств проката. Мелкодисперсные частицы являются местами скопления и закрепления дислокаций, что дополнительно упрочняет сталь. Изделия из такого проката, трубы в частности, обладают довольно низким, по современным меркам, уровнем пластичности (4).

Согласно ГОСТ 10705-80 относительное удлинение основного металла труб (сталь 08Ю, 08пс) диаметром от 10 до 60 мм включительно без термической обработки и с термической обработкой сварного соединения должно соответствовать быть не менее 16%. А после термической обработки – не менее 25–30%. Увеличение наружного

диаметра термически обработанных труб при раздаче должно быть не менее 12%, а без термической обработки – не менее 6 %.

Авторами установлено, что сравнительно слабая, неравномерная по сечению холодная пластическая деформация при формовке трубной заготовки, сама по себе не очень сильно меняющая свойства материала, существенно ускоряет процессы выделения атомов внедрения возле дислокаций. Этот суммарный эффект деформации и старения («деформационное старение») резко ухудшает вязкость и пластичность металла труб. Деформационное старение развивается в течение 15–16 суток при комнатной температуре и в течение нескольких минут при 200—350 °С.

Таким образом, во-первых, изготовление труб из обычных низкоуглеродистых сталей без последующей термообработки, предотвращающей старение, может привести к массовому браку при обработке давлением. Во-вторых, отжиг представляется единственным вариантом повышения пластичности труб. Относительное удлинение при условии отжига должно достигать уровня лишь не менее 30% для стали 08Ю и не менее 25% для стали 08пс.

Значительная часть производимого в мире тонкого стального листа потребляется автомобилестроением. Уровень и темпы развития данной отрасли заставили ведущие мировые металлургические комбинаты создать ряд новых марок сталей для автомобилестроения со специфическим комплексом свойств. В отдельную группу выносят стали, которые подвергают значительной холодной пластической деформации в процессе изготовления изделия. Для этих сталей применено принципиально другое технологическое решение проблемы деформационного старения стали – удаление атомов внедрения из твердого раствора и создание сталей с весьма низким содержанием атомов внедрения - interstitial free (IF) (5). Впервые такое решение проблемы было предложено более 25 лет назад японскими специалистами. Производство таких сталей освоено во всех странах, имеющих развитую металлургическую и автомобильную промышленности. В России IF-стали выпускают предприятия ОАО «Северсталь», ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат». Учитывая важную роль углерода в формировании механических и технологических свойств сталей, а также сложность удаления элементов внедрения из твердого раствора, металлургические предприятия выпускают ряд сталей с пониженным и нормируемым содержанием углерода. В общем случае такие стали обозначают следующим образом (указаны проценты по массе): LC – низкоуглеродистые 0,03...0,25 С, %; ELC – экстранизкоуглеродистые 0,005...0,02 С, %; ULC – ультранизкоуглеродистые 0,002...0,005 С, %; SULC – суперультранизкоуглеродистые С < 0,002 %. IF-стали имеют специфическую систему легирования, которую выбирают для обеспечения основной цели – отсутствия эффекта старения при сохранении высокой штампуемости и достаточной прочности. Необходимо отметить, что производители не указывают марки IF-сталей, а приводят только состав. Единой международной системы обозначений для IF-сталей в настоящее время нет. На российский и белорусский рынки в настоящее время в основном поставляются LC-стали. ELC, ULC, SULC-стали идут на экспорт. В таблице 2 приведен химсостав выборочных плавок таких сталей.

Использование сталей с пониженным содержанием примесей внедрения (LC-сталей) для изготовления труб позволяет значительно повысить комплекс их механических и технологических свойств. Необходимо сказать, что химсостав одной и той же марки стали, категории вытяжки, по одному и тому же ГОСТу, одного и того же производителя для разных сертификатов колеблется в довольно широких пределах. Соответственно и свойства труб могут отличаться. Например, целый ряд партий труб, изготовленных из проката 08пс категории вытяжки ВГ (согласно сертификату предприятия-изготовителя) не подвержен старению.

Таблица 2. Химический состав стали 08Ю, производимой различными металлургическими комбинатами, согласно требованиям ГОСТ 9045-93 «Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки»

Производитель	Массовая доля элементов по химическому анализу, %						
	C	Mg	S	P	Si	Al	N2
ОАО «НЛМК»	0,03	0,18	0,011	0,005	0,01	0,052	0,004
ОАО «ММК»	0,05	0,28	0,024	0,009	0,01	0,053	-
ОАО «Северсталь»	0,04	0,15	0,016	0,012	0,01	0,03	0,005

Трубы сразу после сварки имеют пластичность выше той, что установлена в ГОСТе для труб с термообработкой, т.е. отжиг не требуется. Так, для трубы Ø16x0,9мм из 08пс относительное удлинение может быть 43%, временное сопротивление 367Н/мм². Увеличение наружного диаметра труб при раздаче до разрыва 50-60% при условии разрушения по основному металлу, а не по шву.

Таким образом, по сравнению с традиционными сталями новейшие материалы характеризуются значительно лучшим сочетанием высокой прочности и формруемости. Изготовление труб даже из ЛС-сталей, более чистых по углероду, азоту, фосфору, обладает целым рядом несомненных преимуществ. Оно позволяет создать новую, более экономичную технологию производства. Применение новых сталей позволяет получать качественно новые трубы, что, несомненно, расширяет диапазон их применения.

Список литературы

1. Франценюк, И.В., Франценюк, Л.И. Современное металлургическое производство. – И.В. Франценюк, Л.И. Франценюк - М: Металлургия, 2000. - 528 с.
2. Бабич, В.К., Гуль, Ю.П., Долженков, И.Е. Деформационное старение стали./В.К. Бабич, Ю.П. Гуль, И.Е. Долженков - М.: «Металлургия», 1972.- 320с.
3. Радионова, И.Г., Саррак, В.И., Суворова, С.О., Мухин, Ю.А., Шаповалов, А.П., Штремель, М.А. Условия предотвращения старения свтолистовой стали 08Ю после непрерывного отжига / И.Г. Радионова, В.И. Саррак, С.О. Суворова, Ю.А. Мухин, А.П. Шаповалов и М.А.Штремель // Сталь.-1986.-№1.-с.71-74.
4. Гусева, С.С., Гуренко, В.Д., Зварковский, Ю.Д Непрерывная термическая обработка автолистовой стали/ С.С. Гусева, В.Д. Гуренко, Ю.Д. Зварковский - М.: «Металлургия», 1979.- 224 с.
5. Лейрих, И.В. Тенденции развития и применения листовых сталей в автомобилестроении / И.В. Лейрих //Донецкий национальный технический университет. Научные труды.- 2007.- №9(122).