

Академик АН УССР Г. В. КАРПЕНКО, М. М. ШВЕД, Н. Я. ЯРЕМЧЕНКО

### О ВЛИЯНИИ НАВОДОРОЖИВАНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗА

Данные о влиянии водорода в стали на ее механические свойства очень противоречивы. Авторами работ (1-7) было показано, что наличие водорода в стали приводит к снижению предела прочности, особенно при малой скорости деформации. По (8), при длительном наводороживании предел прочности стали-4 повышается. Нет также единого мнения о влиянии водорода на верхний и нижний пределы текучести стали (2, 9, 10). Следует отметить, что при исследовании влияния водорода на механические свойства стали применяли, как правило, образцы сравнительно больших размеров (от 4 до 10 мм) при различных режимах насыщения водородом. Поскольку глубина проникновения водорода намного меньше, чем размер исследуемых образцов, выводы этих исследований представляют частный интерес. Очевидно, что в зависимости от соотношения площади поперечного сечения образца, насыщенного водородом, и общей площади поперечного сечения результаты механических испытаний могут быть различными. Для того чтобы судить об изменении механических свойств материала под влиянием растворенного в нем водорода, необходимо, чтобы в образце концентрация водорода была примерно одинаковая во всем объеме рабочей части.

Нами предпринято исследование влияния электролитического наводороживания на пределы текучести и прочности при одноосном растяжении образцов армо-железа различных поперечных сечений. Опыты проводили на плоских образцах шириной 3 мм, длиной рабочей части 12 мм и толщиной 2,5; 2; 1,5; 1,2; 0,8 и 0,5 мм. После изготовления образцы отжигали в вакууме при 930° в течение часа. Часть образцов каждой толщины (7-8 штук) испытывали в воздухе с постоянной скоростью деформации 1,85 мм/мин. Другую часть образцов (тоже 7-8) в процессе растяжения с такой же скоростью подвергали наводороживанию в 26% водном растворе серной кислоты при одинаковой плотности тока 10 а/дм<sup>2</sup> (предварительно каждый образец перед растяжением наводороживали в течение 5 мин. при этой плотности тока, а потом растягивали при наводороживании; анод — платиновый). Деформирование образцов как в воздухе, так и в процессе наводороживания проводили на машине для микромеханических испытаний металлов на растяжение при воздействии жидких сред (11). По диаграмме сила — деформация, записанной двухкоординатным самописцем, определяли пределы прочности и текучести испытываемых образцов. Результаты определения предела прочности образцов армо-железа различных размеров в воздухе и в процессе электролитического наводороживания представлены на рис. 1 (каждая точка среднее из 7-8 образцов). Аналогичная зависимость получена нами для верхнего предела текучести.

Как и следовало ожидать, предел прочности ненаводороженных образцов армо-железа, испытанных в воздухе (рис. 1), не зависит от толщины

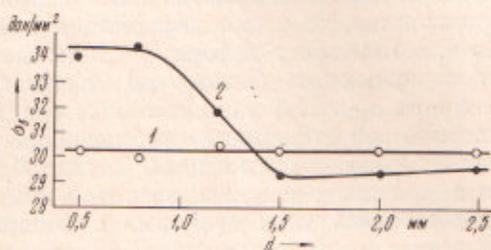


Рис. 1. Зависимость предела прочности от толщины образцов армо-железа, испытанных при растяжении в воздухе (1) и в процессе электролитического наводороживания (2)

образца. Если же испытывать образцы армко-железа в процессе электролитического наводороживания (рис. 1), наблюдается зависимость предела прочности от толщины образцов (масштабный эффект). Для образцов толщиной 0,5; 0,8 и 1,2 мм отмечается повышение предела прочности, для образцов толщиной 1,5 мм и более — понижение. Глубина наводороживания, которая была нами определена по толщине хрупкого излома, составляла примерно 0,5 мм. Образцы, толщиной 1,5 мм и более при деформации в процессе наводороживания разрушаются хрупко-вязко: хрупко разрушается приповерхностный слой, вязко — сердцевина. Для указанных размеров образцов наблюдается понижение предела прочности и текучести. Образцы толщиной 1,2 мм и менее, т. е. когда глубина проникновения водорода соизмерима с толщиной исследуемых образцов, разрушаются хрупко, и пределы прочности и текучести этих образцов выше, чем в воздухе.

Описанным явлениям можно дать следующее объяснение. Известно<sup>(12)</sup>, что наиболее важный параметр, определяющий пластичность металла, — это плотность подвижных дислокаций на плоскостях скольжения. Если при действии приложенного напряжения дислокации в металле задерживаются, то такая деформация приводит к повышению сопротивления пластическому деформированию металла, так как силовые поля вокруг задержанных дислокаций являются эффективными барьерами для движения других близко расположенных дислокаций. Поэтому, если при пластической деформации наблюдается упрочнение, то это свидетельствует о задержке дислокаций. Таким образом, повышение предела текучести и прочности армко-железа при наводороживании (когда толщина наводороженного слоя сравнима с толщиной исследуемого образца) подтверждает высказанное ранее предположение об уменьшении подвижности дислокаций при наличии водорода в стали<sup>(13)</sup>.

Образцы больших размеров, насыщенных водородом, — неоднородные образцы: сочетание хрупкого приповерхностного насыщенного водородом слоя и мягкой сердцевины. При испытании такого неоднородного образца возможно понижение верхнего предела текучести. Несмотря на то что приповерхностный наводороженный слой имеет повышенную прочность по сравнению с сердцевиной, предел прочности для такого образца все же ниже, чем для такого же образца, но ненаводороженного. Это связано с тем, что пластичность наводороженного слоя намного меньше, чем сердцевины, и упрочнение его будет идти намного быстрее, а разрушение наступит раньше. Поэтому несущая способность такого образца или условный предел прочности ниже, чем у такого же образца, но с неупорядоченным приповерхностным слоем.

Таким образом, эксперименты показали существование масштабного эффекта при наводороживании; наличие водорода в железе приводит к повышению предела прочности и текучести (при равномерной концентрации водорода в рабочей части испытываемого образца), что подтверждает предположение о блокировке водородом подвижных дислокаций<sup>(13)</sup>.

Физико-механический институт  
Академии наук УССР  
Львов

Поступило  
22 XII 1970

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Н. С. Vaughan, M. E. Morton, Brit. Weld. J., 4, № 1, 40 (1957). <sup>2</sup> Л. А. Глякман, В. П. Теодорович и др., Сборн. Химия серу- и азотсодержащих соединений, содержащихся в нефтях и нефтепродуктах, З. Уфа, 1960, стр. 431. <sup>3</sup> A. Dvorak, Hutnik, 6, № 11, 337 (1956). <sup>4</sup> K. Sachs, S. H. Melbourne, Spec. Rep. Iron and Steel Inst., 1961. <sup>5</sup> М. И. Замоторин, Т. С. Карасева, Водород в сплавах железа с кремнием, Тр. Ленингр. политехнич. инст., № 218, 109 (1962). <sup>6</sup> N. I. Petch, Phil. Mag., 1, № 4, 331 (1956). <sup>7</sup> М. И. Чаевский, Изв. АН СССР, ОТН, № 9, 121 (1957). <sup>8</sup> В. К. Попов, Н. А. Хворостухина, Изв. СО АН СССР, № 8, 39 (1958). <sup>9</sup> E. Herzog, Techn. et appl. petrol., 13, № 147 (1958). <sup>10</sup> J. Ohnishi, J. Kikuta, Proc. 2-nd, Japan Congr. Test Mater. Kyoto, Japan Soc. Test Mater., 1959, p. 113. <sup>11</sup> Г. Г. Максимович, В. С. Баранецкий, Сборн. Машины и приборы для испытания металлов, Киев, 1961. <sup>12</sup> В. С. Иванова, Усталость и хрупкость металлических материалов, М., 1968. <sup>13</sup> Г. В. Карпенко, Влияние водню на механічні властивості сталі, Киев, 1960.