

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПРЕДЕЛА ВЫНОСЛИВОСТИ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ

Д-р техн. наук, проф. В.А. БУБНОВ, канд. техн. наук, доц. С.Г. КОСТЕНКО

Одна из основных причин потери работоспособности деталей машин и аппаратов — разрушение их от усталости. Многие детали изготавливаются из сталей аустенитного класса. В технологии изготовления этих деталей широко практикуется пластическая деформация, которая значительно меняет выносливость деталей вследствие наклепа и изменения микроструктуры материала. Проведен сравнительный анализ существующих широко известных способов определения предела выносливости и предложен новый способ определения предела выносливости аустенитных сталей, подвергнутых пластической деформации, с помощью их магнитных свойств.

Fatigue of elements of machines and apparatus is the main reason of their destruction and loss of efficiency. Many elements are produced from steels of austenitic type. Plastic deformation is used in the technology of producing these elements. It changes the elements strength greatly because of riveting and alteration of material microstructure. Comparative analysis of modern well-known methods of determining the limit of strength is carried out. A new method of determining strength limit of austenitic steels subject to plastic deformation with the help of their magnetic properties is suggested.

Многие детали в пищевом, химическом и нефтехимическом машиностроении изготавливаются из сталей аустенитного класса (12X18H10T, 12X18H9T и др.). В процессе их изготовления часто применяется пластическое деформирование [1, 2], которое активно влияет на физические и механические свойства металлов. У аустенитных сталей (рис. 1) значительно повышаются прочностные характеристики (σ_r , σ_b , $HВ$) и мягко, незначительно снижаются показатели пластичности (δ %; ψ %).

Одной из основных причин потери работоспособности деталей машиностроительных конструкций, работающих в условиях циклически изменяющихся напряжений, является разрушение их от усталости. Многочисленные исследования показывают, что разрушение от усталости начинается в местах концентрации напряжений, которые могут быть конструктивного происхождения (отверстия, резкое изменение поперечных сечений по длине детали), технологического (неровности поверхности, зависящие от степени шероховатости при механической обработке), металлургического происхождения (различного рода раковины и неметаллические включения и т.д.).

Концентраторы напряжений могут вызывать большие местные напряжения при небольшом среднем напряжении, действующем на деталь. Эти напряжения могут привести при первом же нагружении к местной пластической деформации. При циклически меняющихся напряжениях происходят микропластические деформации, которые ведут к дальнейшему накоплению деформаций

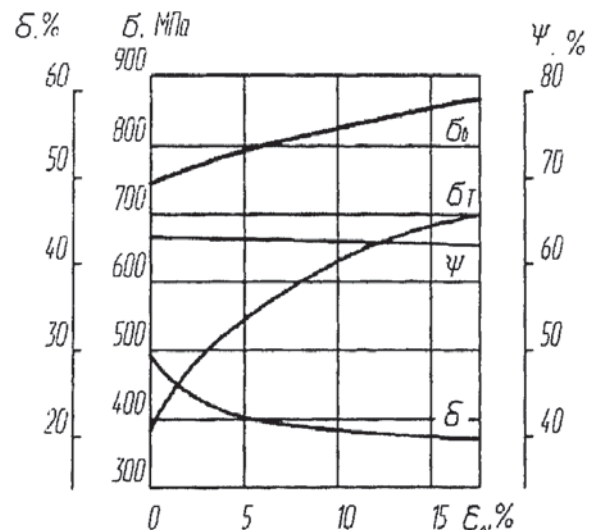


Рис. 1. Механические характеристики стали 12X18H10T в зависимости от степени деформации ϵ_0 при упрочнении пластическим растяжением

такого вида, вплоть до полного использования запаса прочности, и последующему началу местного разрушения, т.е. образованию усталостной трещины.

Для обеспечения требуемого ресурса работы конструкции при минимальной материалоемкости и необходимом уровне технологичности деталей нужна исчерпывающая информация об условиях нагружения и характеристике усталостной прочности материала — пределе выносливости σ_{-1} .

Известен способ определения предела выносливости по твердости для двух групп сталей: низколегированных сталей перлитного класса и для углеродистых сталей [3].

Способ заключается в том, что проводится испытание на усталость, в результате чего определяется предел выносливости конкретной стали. Определяется твердость этой же стали и затем строится график зависимости между твердостью HV и пределом выносливости σ_{-1} . Средние линии на графиках могут быть описаны уравнениями: $\sigma_{-1} = 0,1 HV + 150$ (МПа) для низколегированных сталей перлитного класса и $\sigma_{-1} = 0,1 HV + 100$ (МПа) — для углеродистых сталей. Недостаток указанного способа в его малой информативности и невысокой точности определения σ_{-1} в зависимости от HV .

Известен способ определения предела выносливости материала при растяжении-сжатии в случае симметричного цикла. Способ заключается в том, что партию стальных образцов подвергают осевым усилиям при симметричном цикле (попеременному растяжению и сжатию) и доводят до разрушения. Реализуется способ на установке, указанной в источнике [4].

Известен способ определения предела выносливости материала при чистом изгибе в случае симметричного цикла [4]. При испытаниях обеспечиваются в отдельных образцах различные напряжения для того, чтобы выявить закономерности изменения числа циклов до разрушения в зависимости от изменения амплитуды напряжений. Полученная закономерность изображается в форме кривой усталости. Особенности и недостатки данных способов: значительная трудоемкость, долговременность испытаний, необходимость большого числа образцов, большие энергетические затраты.

Нами предложен новый способ определения предела выносливости аустенитных сталей. Для устранения недостатков приведенных выше способов предел выносливости нержавеющей стали аустенитного класса, подвергаемой пластическому деформированию, находят следующим образом: первоначально определяют магнитную силу отрыва (P_{mag}) исследуемого образца после чего предел выносливости нержавеющей стали аустенитного класса определяют по предварительно построенной тарировочной кривой, устанавливающей зависимость между пределом выносливости и магнитной силой отрыва образца.

Известно, что нержавеющие стали аустенитного класса содержат неустойчивый аустенит (аустенит-раствор углерода в γ -железе, γ -железо является не магнитным материалом [5, 6]). Пластическая деформация приводит к его частичному преобразованию в α -железо по мартенситному механизму (α -железо обладает высокой магнитной восприимчивостью). Пластическая деформация оказывает существенное влияние на величину предела выносливости и величину магнитной силы отрыва стали.

Нами установлено, что предел выносливости и магнитная сила отрыва стали аустенитного класса увеличиваются в зависимости от степени предварительной пластической деформации и весьма значительно. Таким образом, можно прямо связать предел выносливости с магнитной силой отрыва данного типа стали.

На рис. 2 приведена схема установки для реализации предлагаемого способа.

Установка представляет собой аналитические весы, в которых образец-навесок 1 исследуемого материала подвешен на немагнитной нити 2 в тонкостенной чашечке 3 из немагнитного материала. Нить подвешивается на конце коромысла 4 со стрелкой 5, шарнирно закрепленного на вертикальной стойке 6 с установленной на ней шкалой 7. Коромысло имеет специальные регулируемые противовесы 8. Стойка крепится на основании 9. На основании

9 расположен, строго под указанной подвеской, постоянный магнит 10. На другом конце коромысла, также на нити 2, подвешивается чашечка 11, в которой расположен мерный груз (песок) 12.

Способ реализуется следующим образом. Коромысло 4 уравнивается регулируемыми противовесами 8 после удаления с основания 9 магнита 10. Контроль равновесия осуществляется установкой стрелки 5 в нулевое положение по шкале 7. Затем ставится магнит в указанное выше место и образец-навесок 1 исследуемого материала с предварительной пластической деформацией, помещенный в чашечке 3, приводится в положение касания с магнитом поворотом коромысла 4. После этого песок подсыпают в чашечку 11 до момента отрыва образца-навеска 1 с чашечкой 3 от магнита 10. Величина магнитной силы отрыва образца-навеска определяется взвешиванием мерного песка. Затем определяют предел выносливости материала по предварительно построенной тарировочной кривой в координатах $P_{\text{маг}} - \sigma_{-1}$.

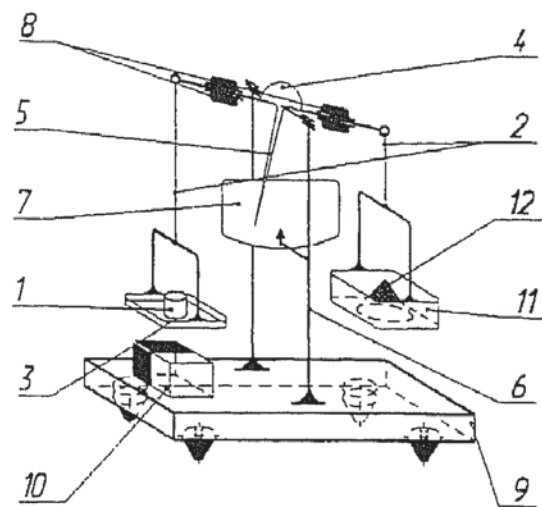


Рис. 2. Схема установки для реализации способа определения предела выносливости аустенитной стали

Затем определяют предел выносливости материала по предварительно построенной тарировочной кривой в координатах $P_{\text{маг}} - \sigma_{-1}$.

Установление связи между магнитной силой отрыва стали и ее пределом выносливости позволяет уменьшить количество и трудоемкость испытаний, нет необходимости в проведении большого числа длительных экспериментов по определению предела выносливости и изготовлении большого числа точных образцов для испытания на усталость.

Апробация способа проводилась на примере стали 12Х18Н10Т. На первом этапе изготавливались образцы из указанной аустенитной стали с различной степенью деформации (0; 2; 5; 10; 20 %). Они испытывались в условиях чистого изгиба при симметричном цикле нагружения на машине для усталостных испытаний МУИ-6000. По результатам испытаний была установлена зависимость предела выносливости σ_{-1} от степени деформации материала, из которого изготовлены образцы (рис. 3).

На втором этапе изготавливались образцы-навески (диаметр образца $d=10$ мм, высота $h=15$ мм) с такой же степенью деформации (0; 2; 5; 10; 20%). С помощью установки (рис. 2) определялась величина магнитной силы отрыва $P_{\text{маг}}$ для каждого образца и строилась зависимость (рис. 4).

На третьем этапе строилась тарировочная кривая в координатах $P_{\text{маг}} - \sigma_{-1}$ (рис. 5). По построенной тарировочной кривой можно определить σ_{-1} стали 12Х18Н10Т с любой другой (отличной от 2; 5; 10; 20 %) степенью деформации.

Предложенный способ может быть использован для прогнозирования ресурса работы конструкций, испытывающих при эксплуатации

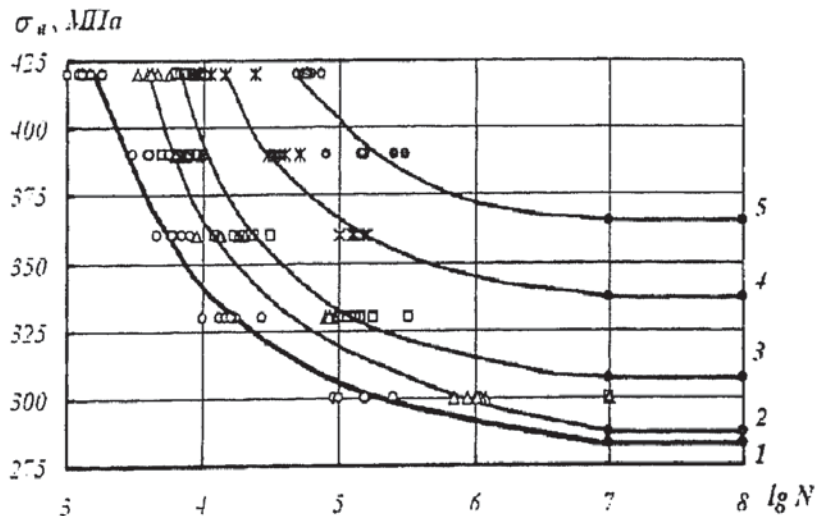


Рис. 3. График изменения предела выносливости при симметричном цикле нагружения в условиях чистого изгиба в зависимости от степени деформации ϵ_0 , %: 1 — 0; 2 — 2; 3 — 5; 4 — 10; 5 — 20

циклические напряжения, изготовленных из нержавеющей аустенитного класса сталей (12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т и т. п.) и содержащих в технологии изготовления пластическое деформирование.

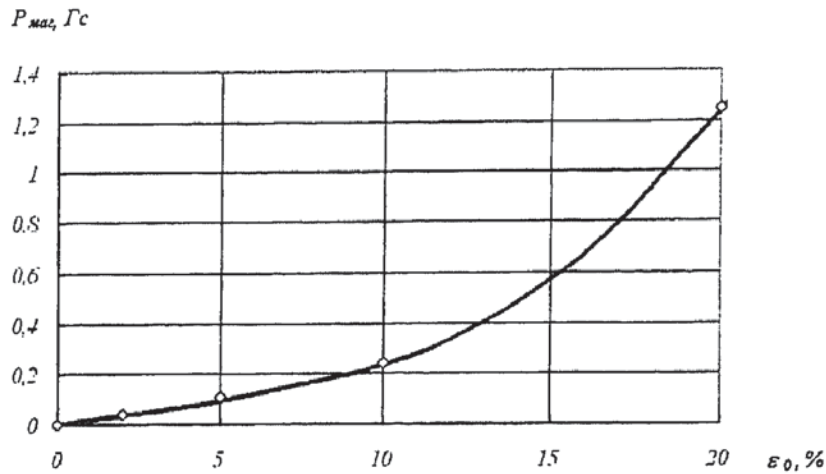


Рис. 4. График изменения магнитной силы отрыва стали аустенитного класса в зависимости от степени деформации; ϵ_0 , %: 1 — 0; 2 — 2; 3 — 5; 4 — 10; 5 — 20

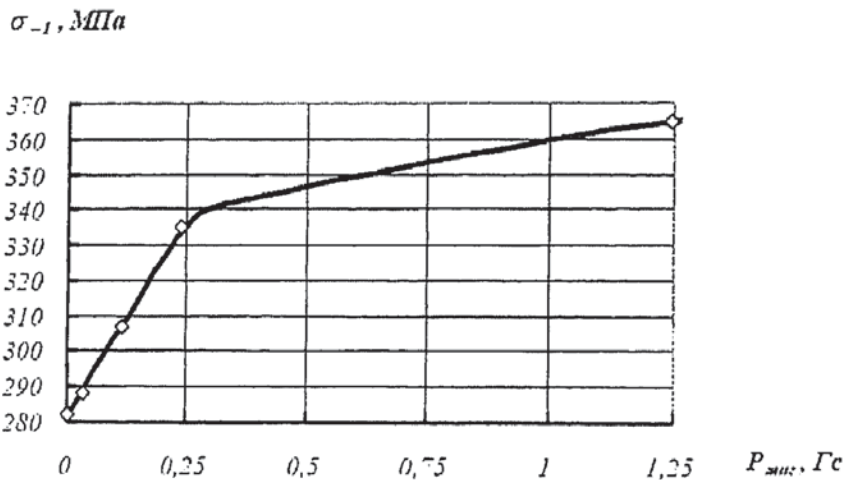


Рис. 5. Тарировочная кривая, устанавливающая связь между пределом выносливости и магнитной силой отрыва стали после пластической деформации

Таким образом, преимущества предлагаемого способа: простота осуществления, отсутствие энергозатрат, малое количество образцов, снижение трудоемкости и сложности проведения испытаний на усталостную прочность деталей, материал которых в ходе изготовления подвергался предварительной пластической деформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б у б н о в В. А. Изменение механических свойств сталей при пластическом изгибе и последующем пластическом растяжении // Известия вузов. Машиностроение. — 1989. — № 12. — С. 3—6.
2. О т р а д н ы й В. В., Б у б н о в В. А. Работоспособность стальных деталей, подвергаемых объемному упрочнению пластическим деформированием // Известия вузов. Машиностроение. — 2002. — № 4. — С. 18—25.
3. М а р к о в е ц М. П. Определение механических свойств металлов по твердости. — М.: Машиностроение, 1979. — С. 145—146.
4. Сопротивление материалов. Под общ. ред. Г.С.Писаренко. 4-е изд. — Киев: Вища школа, 1979. — С. 594.
5. Физические величины. Справочник. Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. — М.: Энергоатомиздат, 1991.
6. Г у л я е в А. П. Металловедение, 5-е изд., — М.: «Машиностроение», 1977. — С. 483—487.