

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Современные технологии разливки и кристаллизации сплавов. – М.: Машиностроение. 1998. – 360 с.
2. Лукин С.В., Шестаков Н.И., Страшко Т.И. Математическая модель теплообмена сляба с рабочей стенкой кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2007. – № 3. – С. 13–16.
3. Лукин С.В., Шестаков Н.И., Страшко Т.И., Зверев А.В. Охлаждение и затвердевание металла в кристаллизаторе машины непрерывного литья заготовок // Металлы, 2007. – № 3. – С. 20–26.
4. Шестаков Н.И., Калягин Ю.А., Манько О.В., Лукин С.В. Теплообмен в рабочей стенке щелевого кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок // Проблемы машиностроения и надежности машин, 2004. – №3. – С. 78 – 81.
5. Цаплин А.И. Теплофизика внешних воздействий при кристаллизации стальных слитков на машинах непрерывного литья. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН. 1995. – 238 с.
6. Хорбах У., Коккентидт Й., Юнг В. Литье сортовых заготовок с высокой скоростью через кристаллизатор параболического профиля // МРТ. – 1999. – С. 42 – 51.
7. .

621.825.52.001.2

МЕХАНИЗМ УПРОЧНЕНИЯ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ

Докт. техн. наук, проф. В.А. Бубнов, канд. техн. наук, доц. С.Г. Костенко

Установлено влияние пластической деформации аустенитных сталей на изменение их механических характеристик прочности, пластичности, ударной вязкости, а также магнитных свойств. На основании экспериментальных данных получена зависимость для определения предела выносливости аустенитных сталей, прошедших деформационное упрочнение.

В химическом, нефтяном и пищевом машиностроении, в медицинской технике широкое применение находят аустенитные стали. Этот класс стали характерен тем, что при достаточно высоком содержании ряда легирующих элементов (Cr, Ni – расширяющих γ область) получают стали, в которых содержится аустенит при охлаждении до комнатной температуры [1]. Это хромоникелевые стали с содержанием хрома от 10 до 27% и никеля более 7% по ГОСТ 5632-72 [2]. Стандарт предусматривает порядка 50 марок сталей данного класса.

При изготовлении различного технологического оборудования из аустенитных сталей широко используются технологические процессы с применением пластического деформирования (гибка, вальцовка, штамповка, калибровка, правка). Пластическая деформация в холодном состоянии приводит к активному изменению физических и механических свойств.

В Курганском государственном университете и ОАО «Курганхиммаш» при участии Московского «НИИХИММАШа» уже более 25 лет ведутся работы по исследованию изменения физических и механических свойств аустенитных сталей на примере 12x18H9T и 12x18H10T при холодной пластической деформации в зависимости от степени деформации (ε_0). Интервал исследования по степени деформации $\varepsilon_0 = (0 \div 20)\%$.

Исследование механических свойств проводилось на образцах изготовленных из исходного металла и из металла прошедшего упрочнения пластическим деформированием в полном объеме (растяжением, сжатием, пластическим изгибом). На рис. 1 представлено изменение механических характеристик стали 12x18H10T в зависимости от степени деформации, а на рис. 2 изменение ударной вязкости этой стали также в зависимости от степени деформации (ε_0).

Для большей достоверности испытания повторялись несколько раз на различных поставках (плавках) металла и параллельно были проведены в лаборатории прочности «НИИХИММАШа» (г. Москва), на материалах представленных Курганским заводом химического машиностроения.

Механические характеристики сталей различных поставок имеют значительные расхождения по величине, однако, характер упрочнения и зависимость механических характеристик от степени деформации имеют одни и те же закономерности.

Предел прочности (σ_s) и предел текучести (σ_T) увеличивают свои величины при наклепе наиболее активно в начальный период упрочнения, при степенях деформации $\varepsilon_0 \leq 5\%$.

Остаточное относительное удлинение (δ) несколько активнее снижает свою величину в начальный период упрочнения ($\varepsilon_0 \leq 2\%$), а далее активность этого снижения уменьшается и оно имеет равномерный характер.

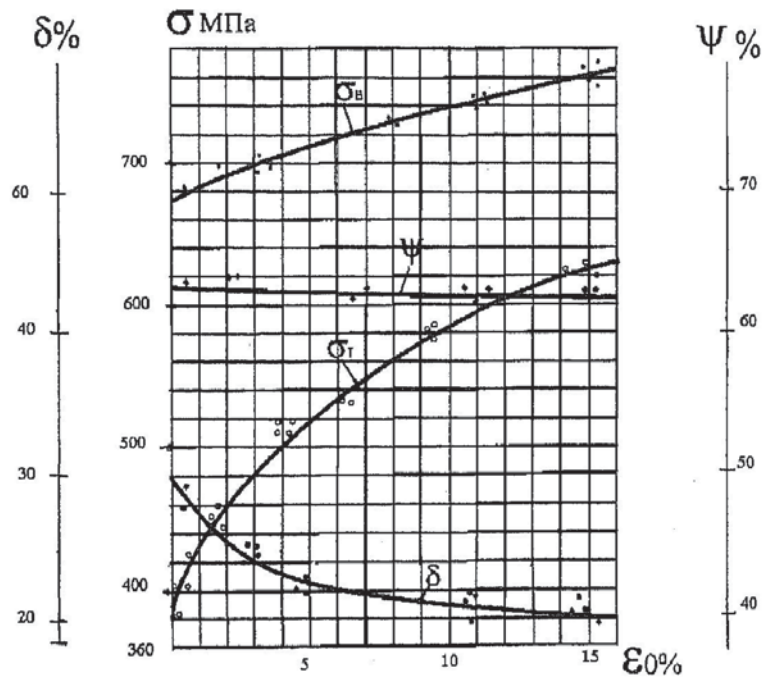


Рис. 1. Механические характеристики стали 12x18H10T в зависимости от степени деформации ϵ_0

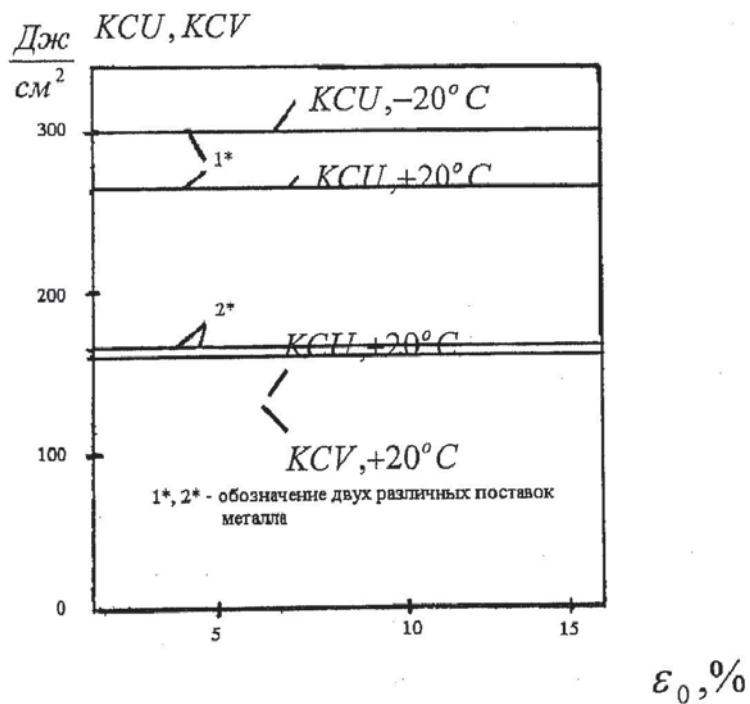


Рис. 2. Зависимость ударной вязкости (K_{CU} , K_{CV}) от степени деформации

для стали 12x18H10T при деформационном упрочнении

Остаточное относительное сужение (ψ) мало изменяет свою величину, а в области $\varepsilon_0 \leq 5\%$ эта характеристика пластичности остается практически неизменной. Для стали 12x18H10T при степени деформации $\varepsilon_0 \leq 15\%$ снижение остаточного относительного сужения не превышает 4%. Незначительное изменение остаточного относительного сужения у сталей прошедших упрочнение холодной пластической деформацией на основе анализа многочисленных диаграмм растяжения ($P - \Delta\ell$) и механизма образования шейки на образце при испытании образцов на растяжение может быть объяснено тем, что образование шейки начинается при условном нагружении, равном пределу прочности (σ_s) или несколько меньшим его [3]. Характер участка диаграммы за точкой характеризующей предел прочности, не имеет значительных отличий для исходного и деформированного материала, основное отличие в диаграмме находится на той части, которая соответствует деформированию от начала растяжения до предела прочности. К началу же образования шейки неупрочненный образец удлинился значительно больше и изменил свою первоначальную площадь поперечного сечения больше, чем образец из упрочненного материала. Но так как на величину остаточного сужения, или точнее говоря, на величину конечной площади F_k более сильно влияет та часть изменения площади поперечного сечения, которая происходит после начала образования шейки, то и величины этих изменений существенных отличий для упрочненных и неупрочненных материалов не имеют и величина остаточного относительного сужения для упрочненной стали не показывает значительного снижения против исходной неупрочненной стали.

В институте физики металлов Уральского научного центра АН СССР были проведены исследования механических и магнитных свойств образцов холоднокатаных труб из нержавеющей стали ОХ18Н10Т при степенях деформации $\varepsilon_0 = 5 \div 45\%$ [4]. Пластическая деформация аустенитных нержавеющей сталей типа 18-8 приводит к изменению их фазового состава вследствие протекания $\gamma - \alpha$ превращения. Возникающая при этом α -фаза (мартенсит деформации) оказывает существенное влияние на механические и магнитные свойства. По материалам исследований [4] на рис. 3 представлены зависимости изменения предела текучести σ_T , предела прочности σ_s и остаточного относительного удлинения $\delta\%$.

Характер и закономерность деформационного упрочнения (наклепа) аустенитных сталей по этим механическим характеристикам полученные нами (рис. 1) и в работе [4] совпадают.

Значительный интерес представляет поведение ударной вязкости для аустенитных сталей при упрочнении их холодной пластической деформацией (рис. 2). Установлено, что ударная вязкость при -20°C выше, чем при $+20^\circ\text{C}$. Это отличительная особенность аустенитных сталей. Результаты испытаний на ударный изгиб упрочненной стали 12x18H10T показывают, что удар-

ная вязкость в зависимости от степени деформации в интервале $\varepsilon_0 = 0 \div 20\%$ меняется незначительно, как при температуре $+20^\circ\text{C}$, так и при температуре -20°C и -40°C . Так сталь 12x18H10T при величине ударной вязкости исходного материала $KCU = 262 \frac{\text{Джс}}{\text{см}^2}$ после холодного пластического деформирования ($\varepsilon_0 = 20\%$) имела практически такую же величину $KCU = (256 \div 260) \frac{\text{Джс}}{\text{см}^2}$. При величине $\varepsilon_0 \leq 10\%$ изменение ударной вязкости для стали 12x18H10T по параметру KCU обнаружить не удалось. Изменение ударной вязкости для сталей 12x18H10T и 12x18H9T в зависимости от степени деформации по параметру KCV существенного отличия от параметра KCU не имеет. Зависимость изменения ударной вязкости аустенитных сталей 12x18H9T и 12x18H10T от степени деформации при отрицательных температурах (-20°C) носит тот же характер, что и при положительных температурах.

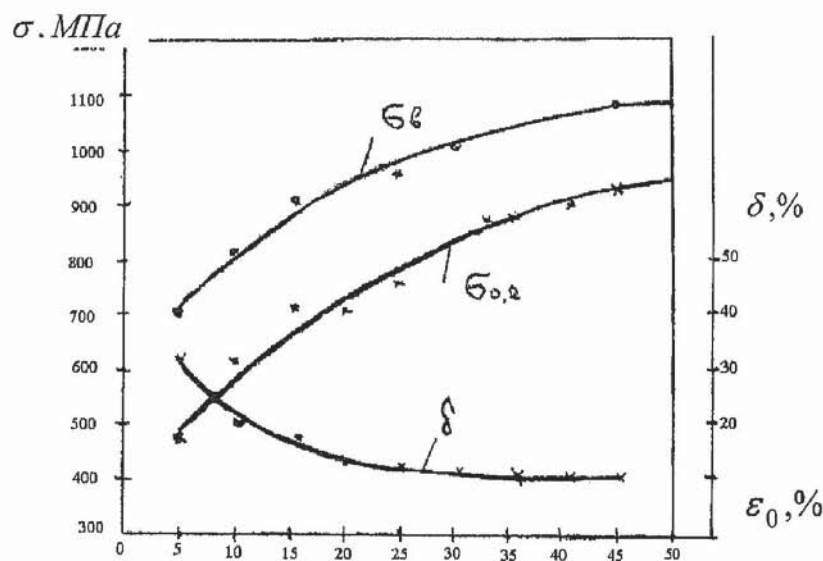


Рис. 3. Механические характеристики образцов холоднокатаных труб из стали 0x18H10T в зависимости от степени деформации по данным Института физики металлов Уральского научного центра АН СССР

Анализ технологических операций, выполняемых с применением холодного пластического деформирования показывает, что подавляющее их большинство выполняется при величине степени деформации $\varepsilon_0 \leq 10\%$ (вальцовка обечаек и конусов, гибка труб, правка, гибка фланцев из полосы, калибровка кольцевых деталей и заготовок пластическим растяжением и обжатием). Материалы выполненных исследований изменения ударной вязкости при деформационном упрочнении аустенитных сталей позволяют сделать вывод, что ударная вязкость этих

сталей при степени деформации $\varepsilon_0 \leq 10\%$ практически сохраняет величину ударной вязкости исходного материала или близка к ней.

Для комплексной оценки работоспособности деталей машин и аппаратов, прошедших деформационное упрочнение (наклеп), значительный интерес представляют исследования влияния наклепа на усталостную прочность материала в условиях работы при циклически меняющихся напряжениях. Нами выявлялось влияние деформационного упрочнения на предел выносливости σ_R . Испытания проводились при симметричном цикле нагружения в условиях чистого изгиба на установке МУИ-6000. образцы вырезались и изготовлялись из прутков прошедших упрочнение пластическим растяжением (рис. 4, а, б).

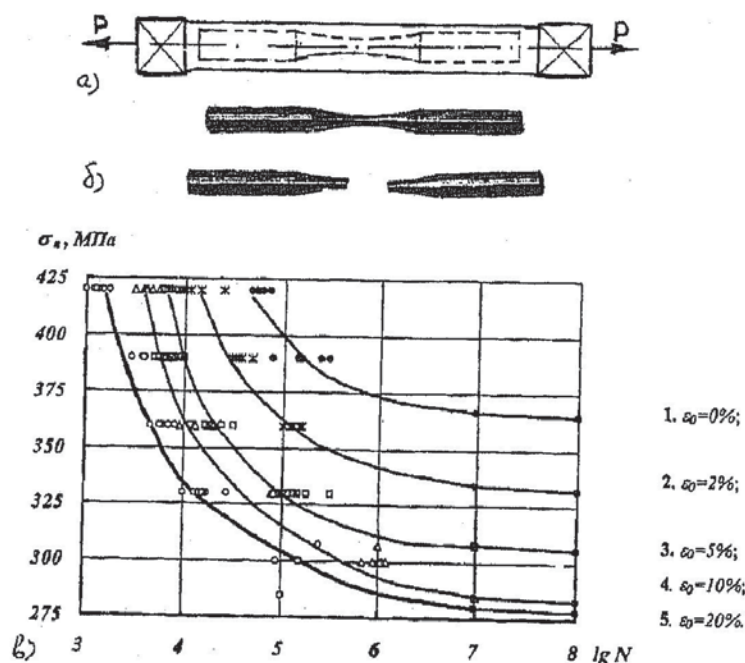


Рис. 4. Исследование прочности стали 12х18Н10Т при циклически меняющихся напряжениях в зависимости от степени деформации материала ε_0 :

а – схема деформирования исходного металла; б – образцы для испытания на усталость; в – кривые усталости

Полученные экспериментальные результаты статистически обрабатывались по ГОСТ 25.502-79. По результатам испытаний построены кривые усталости (кривые Велера) в полугарифмических координатах (рис. 4, в).

Из анализа кривых усталости следует, что их расположение для упрочненной стали выше кривой усталости исходного материала (кривая 1) и тем выше, чем выше степень деформации ε_0 . Следовательно, сталь аустенитного класса проявляет способность к упрочнению не только по пределам текучести σ_T , прочности σ_s , твердости (НВ), но и по пределу выносливо-

сти (σ_{-1}). Все эти механические характеристики повышаются в зависимости от степени деформации. Нами исследовалось поведение этих характеристик в интервале степени деформации $\varepsilon_0 = 0 \div 20\%$.

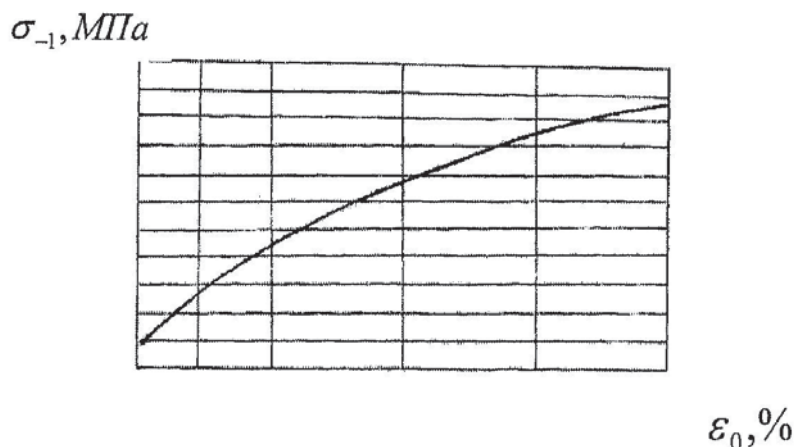


Рис. 5. Зависимость предела выносливости σ_{-1} от степени деформации (ε_0)

для аустенитной стали 12x18H10T

Результаты испытаний упрочненной аустенитной стали 12x18H10T на усталостную прочность показали существенное повышение предела выносливости (σ_{-1}) в зависимости от степени деформации и представлены на рис. 5.

Изменение фазового состава аустенитных сталей с содержанием никеля от 8 до 12% пластической деформацией ведет к изменению магнитных свойств этих сталей, так α - железо обладает ферромагнитными свойствами, а у γ - железа они отсутствуют. Немагнитные аустенитные стали до деформации становятся магнитными после деформации и при этом, чем выше степень деформации, тем сильнее проявляются магнитные свойства. Это явление может быть использовано при определении величины α - фазы [4] и некоторых механических характеристик деформированной стали.

Итак, при пластическом деформировании аустенитных сталей наблюдается деформационное упрочнение за счет одновременного протекания двух процессов: дислокационного и фазового перехода γ - железа в α - железо с образованием мартенсита деформации.

На основании аппроксимации экспериментальных данных получена зависимость для определения предела выносливости аустенитных сталей, прошедших деформационное упрочнение (интервал $\varepsilon_0 = 0 \div 20\%$), в зависимости от исходного предела выносливости и степени деформации:

$$\sigma_{-1\delta} = \sigma_{-1} + (5,7 - 0,06\varepsilon_0)\varepsilon_0,$$

где σ_{-10} - предел выносливости упрочненной стали; σ_{-1} - предел выносливости исходной недеформированной стали; ε_0 - степень деформации.

Активное упрочнение аустенитных сталей пластическим деформированием с сохранением при этом сталями высокой пластичности дает основание для широкого применения упрочняющих металлосберегающих технологий.

Вследствие повышения прочностных характеристик ($\sigma_T, \sigma_\sigma, \sigma_{-1}$) аустенитных сталей при пластическом деформировании, в расчетах на прочность целесообразно рассматривать вопрос о повышении допускаемых напряжений $[\sigma]$ на 15÷20%, но при этом в технических требованиях на изготовление детали или узла должно быть заложено требование о проведении упрочняющей технологии (операции) с указанием степени деформации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуляев А.П. Металловедение. М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
2. ГОСТ 5632-72. стали высоколегированные и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные марки. М., 1972. – 59 с.
3. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1968. – 400 с.
4. Михеев М.Н., Беликова М.М., Витколова Р.Н. и др. Электромагнитный метод определения мартенсита деформации в нержавеющей сталях// Дефектоскопия, № 10. 1985. – с. 48-51.
5. ГОСТ 25.502-79. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. М., 1980. – 32 с.
6. Бубнов В.А. Повышение точности обечаек и заготовок фланцев пластическим растяжением// Химическое и нефтяное машиностроение. 1985, № 10. – с. 26-27.
7. Бубнов В.А. Совершенствование конструкции и технологии изготовления роторов маятниковых центрифуг// Химическое и нефтяное машиностроение. 1986, № 4. – с. 28-29.
8. Бубнов В.А. Металлосберегающая технология изготовления фланцев химического оборудования// Химическое и нефтяное машиностроение. 1987, № 5. – с. 32-34.
9. Бубнов В.А., Вотинов В.А. Повышение точности эллиптических днищ пластическим обжатием// Кузнечно-штамповочное производство. 1988, № 9. – с. 21-22.
10. Громова А.Н., Завьялова В.И., Коробов В.К. Изготовление деталей из листов и профилей при серийном производстве. М.: Оборонгиз, 1960. – 343 с.
11. Мошнин Е.Н. Гибка, обтяжка и правка на прессах. М.: Машгиз, 1959. – 360 с.