

УДК 621.73

Саськова М. А.
Краев М. В.
Гринкевич В. А.
Кузьмина О. М.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ ТВЕРДОСТИ ПРИ РАЗДАЧЕ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК

Тонкостенные цилиндрические изделия из нержавеющей стали аустенитного класса широко применяются в машиностроении, приборостроении, в авиа- и космостроении, а также в криогенной технике и при изготовлении предметов домашнего обихода. Производство разнообразных по форме и назначению изделий указанного вида освоено многими предприятиями. К изделиям из сталей данного класса предъявляются требования по ряду механических свойств, получение которых возможно с помощью холодной пластической деформацией.

Стали аустенитного класса характеризуются большой пластичностью и вязкостью, низкой твердостью, низким пределом текучести. Одним из методов повышения прочности в данном случае является холодная пластическая деформация.

Повышение прочностных свойств указанных сталей происходит благодаря их значительному деформационному упрочнению (вследствие значительной доли аустенита в структуре стали), а также преобразованию некоторого количества аустенита в мартенсит. Образование мартенсита в аустенитных сталях широко известно и используется как упрочняющий фактор [1, 2]. К мартенситному типу также относят фазовое превращение $\gamma \rightarrow \alpha$ при холодной обработке давлением [3], при этом упомянутый процесс, как правило, относят к негативным факторам. Однако это преобразование можно использовать, например, для получения магнитных свойств в парамагнитной стали. Протекание процесса неоднородно: фазовое $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение начинается в областях аустенита с наименьшим содержанием легирующих элементов, распространяясь затем на области аустенита с их большим содержанием [2].

Аустенитные стали после холодной пластической деформации имеют уникальный комплекс механических свойств: относительно высокий предел текучести сочетается в них с достаточной пластичностью и вязкостью. Как уже было сказано, эти особенности обусловлены протекающим в процессе пластической деформации мартенситным превращением, которое вызывает способность к деформационному упрочнению аустенита.

На рис. 1 представлены зависимости объемного содержания α -мартенсита (V_α) от величины интенсивности деформации (ε_i) для стали 07X18H10T при трех видах нагрузки: растяжении, кручении и сжатии [4].

Сравнение кривых показывает, что процессы мартенситного превращения в зависимости от вида нагрузки происходят с разной интенсивностью. Деформация растяжением более способствует интенсивному образованию α -фазы, чем деформация кручением и особенно сжатием. Кривые $V_\alpha - \varepsilon_i$ при кручении и сжатии имеют меньший наклон, чем при растяжении, а максимальное количество α -мартенсита, которое также зависит от вида нагрузки, достигается при больших степенях деформации.

Типичное содержание α -фазы при всех видах нагрузки приблизительно одинаково (8–9 %), однако диапазон деформаций, при которых эта фаза образовывается, для сжатия значительно больше, чем для растяжения.

Причиной расхождений в кинетике фазовых превращений при изменении вида нагрузки являются, по мнению ряда исследователей, объемные эффекты, связанные с образованием мартенсита [5]. Известно, что $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение происходит с увеличением объема, а $\gamma \rightarrow \varepsilon$ превращение – с уменьшением. Таким образом, растяжение, вызывая увеличение растягивающих напряжений в кристалле, способствует $\gamma \rightarrow \alpha$ превращению и подавляет процесс образования ε -фазы. При сжатии, вероятно, наблюдаются обратные эффекты.

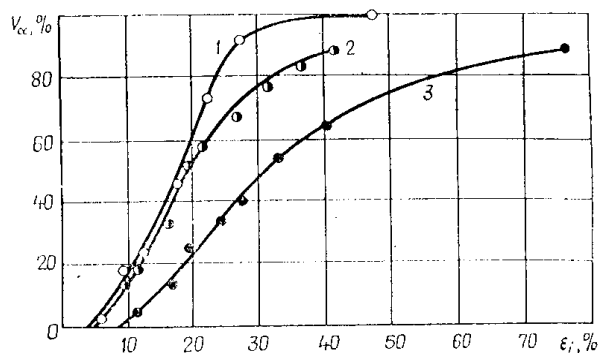


Рис. 1. Зависимость объемного содержания α -фазы в стали 07X18H10T при температуре 77 К от вида и величины деформации:

1 – растяжение; 2 – кручение; 3 – сжатие

механических и магнитных свойств стали аустенитного класса, в частности, стали марки 12X18H10T, от деформационных параметров.

Эксперимент проводился в лаборатории кафедры ОМД Национальной металлургической академии Украины на ручном винтовом прессе. Исследовался процесс раздачи (увеличения диаметра) трубной заготовки коническим пуансоном, изготовленным из Ст. 3 (рис. 2). Для проведения опытов использовались полые цилиндрические образцы из стали 12X18H10T двух типоразмеров: диаметром 15 мм с толщиной стенки 0,5 мм и диаметром 24 мм с толщиной стенки 0,3 мм.

Заготовку устанавливали на нижнюю плиту с фиксатором. Раздача осуществлялась путем перемещения пуансона, закрепленного на ползуне (рис. 2). Процесс деформирования заготовок происходил при комнатной температуре, их разогрев исключен из-за малых скоростей деформирования. Часть образцов деформировалась без наличия смазки на рабочей поверхности пуансона. Для другой части образцов в качестве смазки на поверхность пуансона наносилось сухое хозяйственное мыло, а потом дополнительно применялось индустриальное масло И20, что значительно снизило трение.

Исследование и обработка его результатов проводились по методике полного факторного эксперимента [7]. В качестве независимых переменных были выбраны угол конусности пуансона α , коэффициент раздачи $K_p = \frac{D}{D_{заг}}$ (где D – наибольший диаметр заготовки после раздачи, $D_{заг}$ – начальный диаметр заготовки) и наличие смазки на пуансоне.

Как функция отклика использовалась микротвердость полученных образцов. Измерение микротвердости проводилось на твердомере ПТМ-2 нагрузкой 50 г по стандартной методике [8]: алмазный индентор, имеющий форму четырехгранной пирамиды, вдавливался под нагрузкой 50 г в образец, после чего с помощью шкалы прибора измерялась величина отпечатка (в двух диагональных направлениях). Далее с помощью таблицы с учетом марки материала определялась микротвердость в МПа.

Дополнительное упрочнение от образования мартенсита деформации обусловлено как собственно более высокой твердостью мартенсита, так и созданием в зернах аустенита крепкого каркаса из пластин мартенсита, который препятствует процессам сдвига в аустените.

Имеющиеся немногочисленные исследовательские данные показывают наличие связи между видом напряженного состояния и интенсивностью мартенситного преобразования при пластической деформации, однако не позволяют дать количественную оценку этого влияния.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование зависимости

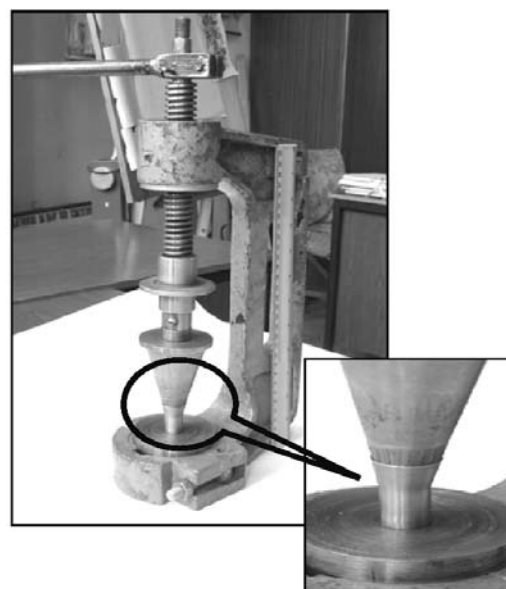


Рис. 2. Общий вид ручного винтового пресса в процессе деформации заготовки $15 \times 0,5$ мм пуансоном с конусностью 15° (с вынесенным увеличенным видом деформируемого образца)

План эксперимента 2^3 в кодированном масштабе для двух исследуемых типоразмеров образцов приведен в табл. 1.

Таблица 1

План эксперимента 2^3

Уровень / факторы	Влияющие факторы			Функция отклика (микротвердость, МПа)	
	Угол конусности пуансона α , град	Коэффициент раздачи K_p	Наличие смазки	образцы $15 \times 0,5$, мм	образцы $24 \times 0,3$, мм
Основной уровень ($x = 0$)	22,5	1,265			
Верхний уровень ($x_i = 1$)	30,0	1,33	присутствует		
Нижний уровень ($x_i = -1$)	15,0	1,20	отсутствует		
Номер опыта / код фактора	X_1	X_2	X_3		
1	+	+	+	3949,84	11221,00
2	-	+	+	3111,39	3906,00
3	+	-	+	3809,39	2929,00
4	-	-	+	3148,73	2785,00
5	+	+	-	4649,50	5687,00
6	-	+	-	3734,16	7981,00
7	+	-	-	4295,50	2502,00
8	-	-	-	3222,52	3227,00

В соответствии с методикой полного факторного эксперимента результаты эксперимента были обработаны с получением коэффициентов уравнения регрессии, проверкой, проверкой их значимости и адекватности модели. Следует отметить, что дублирование опытов было неравномерным, что учтено при обработке результатов.

С учетом значимости коэффициентов для двух видов образцов уравнения регрессии выглядят следующим образом:

для образцов $15 \times 0,5$ мм :

$$y = 3740,14 + 435,94x_1 + 121,08x_2 - 235,27x_3 - 61,13x_1x_3 - 95,33x_2x_3 + 41,91x_1x_2x_3; \quad (1)$$

для образцов $24 \times 0,3$ мм :

$$y = 5029,75 + 555 \cdot x_1 + 2169 \cdot x_2 + 180,5 \cdot x_3 + 700,25 \cdot x_1x_2 + 1309,75 \cdot x_1x_3 + 184,25 \cdot x_2x_3 + 1092,5 \cdot x_1x_2x_3. \quad (2)$$

Анализируя полученные уравнения с точки зрения влияния факторов на микротвердость образцов, можно сделать вывод, что в рамках проведенного эксперимента каждый из факторов по-своему влияет на использованные виды образцов.

Так, на прочностные свойства образцов размерами $15 \times 0,5$ мм наибольшее воздействие оказывает фактор угла конусности инструмента: с увеличением угла конусности пуансона повышается микротвердость образца. Следующим по уровню влияния является коэффициент раздачи. На образцы $24 \times 0,3$ мм наибольшее влияние имеет коэффициент раздачи, т. е. с увеличением коэффициента раздачи его влияние на повышение микротвердости увеличивается. Угол конусности при деформировании образцов этого типоразмера имеет менее

существенное влияние. Третий фактор – наличие или отсутствие смазки на пуансоне – влияет неоднозначно: на свойства образца $15 \times 0,5$ мм этот фактор не имеет существенного влияния, а для образца $24 \times 0,3$ мм его влияние оказалось значимым, но самым слабым по сравнению другими факторами. Это можно объяснить тем, что для более толстой стенки влияние контактного трения не распространяется на внешнюю поверхность образца, на которой измерялась микротвердость. Следует отметить также, что совместное влияние факторов на микротвердость представляется неочевидным, и требует дополнительного анализа.

Из вышесказанного следует, что, по всей видимости, для объективной характеристики воздействия указанных факторов необходимо оперировать характерными геометрическими соотношениями деформируемых заготовок. Для количественной оценки влияния геометрического фактора, а именно отношения диаметра заготовки D к толщине стенки цилиндра s , целесообразно проведение дополнительных исследований. Это позволило бы обобщить результаты экспериментов и расширить полученные данные для более широкого диапазона типоразмеров цилиндрических заготовок.

ВЫВОДЫ

1. На основе литературного обзора проанализировано изменение структуры стали при холодной пластической деформации как фактора, влияющего на изменение механических свойств.

2. Проведено экспериментальное исследование влияния деформационных факторов, а именно – угла конусности пуансона, коэффициента раздачи и наличия смазки на поверхности инструмента – на показатели микротвердости трубных заготовок в процессе раздачи.

3. Проанализировано влияние деформационных факторов на изменение микротвердости образцов после холодной пластической деформации. Показано, что для различных соотношений диаметра трубной заготовки к толщине ее стенки указанные выше факторы холодной пластической деформации отличаются по уровню воздействия.

4. Для более полного отражения влияния параметров холодной деформации на прочностные свойства заготовок именно цилиндрической формы следует изучить зависимость этих свойств от геометрии заготовки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Магнитные свойства холоднодеформированных марганцевых аустенитных сталей 110Г13 и Г40 / В. А. Завалишин, А. И. Дерягин, В. В. Сагарадзе, Л. Г. Коршунов // Физика металлов и металловедение. – 1986. – Т. 62. – № 5. – С. 916–921.*
2. *Сагарадзе В. В. Упрочнение аустенитных сталей / В. В. Сагарадзе, А. И. Уваров. – М.: Наука, 1989. – 270 с.*
3. *Cina V. Iron Steel Inst. – Vol. 179. – Pt. 3. – 1955. – P. 230–240.*
4. *Буркин В. С. Влияние холодной пластической деформации на структуру и свойства нержавеющей стали переходного класса / В. С. Буркин, Ю. И. Дьяков, А. С. Шейн // Металловедение и термическая обработка. – 1978. – № 11. – С. 20–23.*
5. *Косарчук В. В. Влияние вида напряженного состояния на кинетику мартенситного превращения при пластическом деформировании стали 07Х18Н10Т / В. В. Косарчук, Л. В. Зайцева, В. Н. Руденко // Проблемы прочности. – 1985. – № 9. – С. 48–50.*
6. *Ильичев В. Я. Влияние дефектов упаковки на фазовые превращения в Fe–Cr–Ni– сплавах при низкотемпературной деформации / В. Я. Ильичев, Р. А. Ульянов, Л. В. Скибина // Металлофизика. – 1968. – Вып. 23. – С. 78–87.*
7. *Новик Ф. С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф. С. Новик, Я. Б. Арсов. – М.: Машиностроение: София: Техника, 1980. – 304 с.*
8. *Золоторевский В. С. Механические свойства металлов: учебник для вузов / В. С. Золоторевский. – [3-е изд., перераб. и доп.]. – М.: МИСИС, 1998. – 400 с.*

Саськова М. А. – студент НМетАУ;

Краев М. В. – канд. техн. наук, доц. НМетАУ;

Гринкевич В. А. – д-р техн. наук, проф. НМетАУ;

Кузьмина О. М. – канд. техн. наук, доц. НМетАУ;

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: olgakuzmina@bk.ru