

DOI: 10.17223/9785946218412/85

МЕХАНИЗМЫ ДЕФОРМАЦИИ АУСТЕНИТНОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ ПРИ
ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ

¹Сурикова Н.С., ¹Панин В.Е., ¹Наркевич Н.А., ¹Власов И.В.,
¹Гордиенко А.И., ²Волочаев М.Н.

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск
²Институт физики им. Л. В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск

В работе методами механических испытаний и структурных исследований изучены деформационная структура, механические свойства и механизмы пластической деформации аустенитной нержавеющей стали 12Х15Г9НД после интенсивной холодной прокатки. Исследование микроструктуры и фазового состава стали проводили с помощью рентгеноструктурного анализа и электронной просвечивающей микроскопии (ДРОН-7 и JEM-2100, Hitachi HT7700 ЦКП «НАНОТЕХ» ИФПМ и ФИЦ КНЦ). Механические характеристики стали определяли путем одноосного растяжения на модифицированной установке типа «Поляни» со скоростью $5 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ в интервале температур $-90 \div 20^{\circ} \text{ С}$.

Рентгеноструктурный анализ и проведенные исследования температурной зависимости электросопротивления показали, что после закалки в холодную воду от высоких температур и при медленном охлаждении до температуры жидкого азота (-196° С), сталь 12Х15Г9НД не испытывает мартенситных превращений, оставаясь в аустенитном состоянии также, как при комнатной температуре. На дифрактограммах, полученных от исходных образцов стали присутствуют только отражения γ -фазы. Она имеет метастабильную аустенитную структуру [1], в которой при $T \leq 20^{\circ} \text{ С}$ развиваются деформационные мартенситные превращения.

Особенности мартенситных превращений изучали после холодной продольной прокатки стали в исходном состоянии и после поперечно-винтовой прокатки (ПВП) в интервале температур $950 \div 700^{\circ} \text{ С}$. В результате ПВП в аустените формируется неоднородная по сечению прутка субмикроструктурная структура, которая характеризуется более высокой твердостью и прочностью, достаточной пластичностью и хорошей стабильностью [2]. В исходном состоянии сталь содержит высокую долю специальных (двойниковых) границ зерен, которые более проницаемы для деформационных сдвигов, чем границы общего типа. Наличие таких границ обусловлено низкой энергией дефекта упаковки, что связано с присутствием в составе стали примеси азота в количестве 0,2 вес.% [3].

Электронная микроскопия показала, что в исходном состоянии и после ПВП в стали наблюдается одна и та же последовательность деформационных мартенситных $\gamma \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha'$ превращений. На начальных степенях деформации в разных зернах аустенита обнаружено раздельное образование ε - и α' -фаз, в соответствии с [4], где показано, что последовательность $\gamma \rightarrow \varepsilon$, $\gamma \rightarrow \varepsilon \rightarrow \alpha'$ и $\gamma \rightarrow \alpha'$ превращений в поликристаллах метастабильных сталей зависит от кристаллографической ориентации зерна относительно приложенной нагрузки. Первые зародыши ε -мартенсита появляются на дислокациях $a/2[110]$, диссоциированных на две частичные дислокации Шокли с образованием дефекта упаковки. С увеличением степени деформации объемная доля пластин ε -мартенсита растет и в них начинают формироваться более мелкие пластины α' -мартенситной фазы. При близких степенях холодной деформации ($\sim 0,25-0,3$) в образцах стали с первоначально исходным состоянием наблюдается более грубая морфология мартенситных пластин, чем после ПВП. Это связано с большим размером зерна в исходном состоянии (~ 20 мкм, по сравнению с 0,6 мкм после ПВП) и отсутствием субструктуры – субзерен, дислокационных скоплений, дефектов упаковки.

При дальнейшем увеличении степени деформации продолжается фрагментации материала и уменьшается доля ε -мартенсита. При деформации 1,8 в материале формируется нанокристаллическая структура, состоящая в основном из зерен α' -фазы. Рентгеноструктурные исследования показывают, что содержание α' -мартенсита составляет $\sim 86\%$, остальное – аустенитная фаза, размер ОКР примерно равен 40 нм. При электронно-микроскопическом исследовании тонких фольг обнаруживается небольшая доля ε -фазы.

Секция 2. Неустойчивость и локализация деформации и разрушения в материалах с иерархической структурой

При исследовании механических свойств показано, что образцы стали в нанокристаллическом состоянии при комнатной температуре показывают высокие предел текучести $\sigma_{0,1} \sim 1400$ МПа, предел прочности $\sigma_b \sim 2000$ МПа и пластичность до разрушения $\delta \sim 6\%$. Для увеличения пластичности образцы отжигали при температурах 400-600⁰С, при этом часть мартенситной α' -фазы испытывала обратный переход $\alpha' \rightarrow \gamma$, оставляя свою субструктуру – границы пластин и дислокации. Такая обработка позволила повысить пластичность материала, не снижая значительно прочностные характеристики в интервале температур $-90 \div 20^0$ С.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-08-00221 и частично в рамках ПФНИ ГАН на 2013-2020 годы, направление III.23.

1. Филиппов М.А., Литвинов В.С., Немировский Ю.Р. Стали с метастабильным аустенитом. – М.: Металлургия, 1988. 256 с.
2. Сурикова Н.С., Панин В.Е., Наркевич Н.А., Мишин И.П., Гордиенко А.И. Создание поперечно-винтовой прокаткой многоуровневой иерархической мезосубструктуры и ее влияние на механическое поведение аустенитной стали. //Физическая мезомеханика. 2018. Т. 21. №3. С. 36-47.
3. Свяжин А.Г., Капуткина Л.М. Стали, легированные азотом. //Известия вузов. Черная металлургия. 2005. №10. С. 36-46.
4. Киреева И.В., Чумляков Ю.И. Пластическая деформация монокристаллов аустенитных нержавеющей сталей и ГЦК-высокоэнтропийных сплавов. – Томск: Изд-во НТЛ. 2018. 200с.