

УДК 669.14.018.26

**ПНП - стали (TRIP-стали)**

Студентка гр.104215 Шумская А.С.

Научный руководитель – Пучков Э.П.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Целью данной работы является анализ свойств и структуры метастабильных аустенитных сталей, их достоинства и области применения.

Метастабильные аустенитные стали (ПНП - стали) — особый класс высокопрочных материалов повышенной пластичности. Они относятся к высоколегированным сталям. Их состав ориентировочно, согласно маркировке, можно выразить в виде 25Н25М4Г, 30Х9Р8М4Г2С2. Его подбирают таким образом, чтобы после закалки от температуры 1000-1100°С стали имели устойчивую аустенитную структуру ( $M_n$  лежит ниже 0°). Аустенитная структура обладает высокой вязкостью, но низким пределом текучести. Для упрочнения стали подвергают специальной тепловой обработке — пластической деформации с большими степенями обжатия (50-80%) при температуре 400-600°С, лежащей ниже температуры рекристаллизации. При этом деформационное упрочнение (наклёп) совмещается с карбидным упрочнением, развивающимся в результате деформационного старения. Насыщенная дислокационная структура, создаваемая пластической деформацией, дополнительно стабилизируется выделяющимися дисперсными частицами карбидов. В результате деформационно-термического упрочнения предел текучести повышается до 1800МПа. При этом сталям свойственны высокая пластичность ( $\geq 20\%$ ) и трещиностойкость. Значение относительного удлинения  $\delta$  и значение вязкости разрушения  $K_{Ic}$  у этих сталей больше, чем у других высокопрочных сталей таких, как мартенситно-старяющиеся, среднеуглеродистые закаленные и низкоотпущенные и т.д.

Высокая пластичность и вязкость разрушения обусловлены развитием мартенситного превращения в процессе деформирования. Дело в том, что при тепловой обработке аустенит, за счет выделения карбидов, обедняется углеродом и легирующими элементами и становится менее устойчивым (метастабильным). Благодаря этому повторная пластическая деформация вызывает превращение метастабильного аустенита в мартенсит деформации. Механизм повышения пластичности и вязкости разрушения связан с «залечиванием» — локальным упрочнением аустенита в участках пластического течения (в том числе и у вершин движущейся трещины). Образующийся в таких участках мартенсит деформации упрочняет их настолько, что они перестают быть слабыми участками, и деформация распространяется на соседние участки.

Для повышения прочностных свойств ПНП - стали подвергают дополнительной холодной пластической деформации с развитием  $\gamma - \alpha$  превращения в процессе деформации. При этом прочностные свойства увеличиваются, пластичность уменьшается. Сталь 30Х9Н8М4Г2С2 после прокатки при температуре 425°С и степени обжатия 80% имеет предел прочности  $\sigma_g = 1500$ МПа, предел текучести  $\sigma_{0,2} = 1430$ МПа и относительное удлинение  $\delta = 50\%$ . После дополнительной холодной пластической деформации со степенью обжатия 15%:  $\sigma_g = 1750$ МПа, предел текучести  $\sigma_{0,2} = 1620$ МПа и относительное удлинение  $\delta = 35\%$ .

Применение метастабильных аустенитных сталей ограничивается сложностью деформационно - термического упрочнения, высокой стоимостью, контролем состава сталей, обеспечивающим необходимые характеристики упрочнения. Для высоких степеней деформации при низких температурах требуются мощные деформирующие средства.

Достоинства ПНП - сталей:

- высокие значения вязкости разрушения  $K_{Ic}$ . Это обусловлено поглощением энергии деформации при  $\gamma - \alpha$  превращении под действием нагрузки;
- высокое сопротивление усталостному разрушению, что связано с образованием мартенсита деформации при распространении трещины и релаксации напряжений в вершине трещины;
- высокое сопротивление коррозионному разрушению.

Области применения: детали авиаконструкций, крепёжные изделия, броневые листы, высокопрочная проволока, проволока тросов.

В настоящее время для повышения механических свойств используются высокопрочные низколегированные стали с частичным ТРИП – эффектом, применяемые в автомобильной промышленности (стали типа 20Г2ЮПБ).

Однако их широкому промышленному применению препятствуют, в основном, следующие факторы:

- 1) пониженная свариваемость;
- 2) трудности нанесения гальванических покрытий;
- 3) низкий уровень штампуемости, что требует дорогостоящего оборудования;
- 4) трудности с фиксацией формы;
- 5) склонность к задержанному разрушению.

Присутствие метастабильного аустенита в микроструктуре существенно влияет на комплекс механических свойств. Являясь деформационно-нестабильным, аустенит при деформации превращается в мартенсит, что увеличивает скорость деформационного упрочнения, повышает стабильность пластического течения и обеспечивает высокую прочность изделия.

При широко используемых испытаниях листовых сталей на выдавливание цилиндрической и сферической лунок, низколегированная сталь с ТРИП - эффектом позволяет получить существенно большую глубину лунки без разрушения, чем обычная высокопрочная низколегированная сталь с близким

уровнем прочности, но стабильным фазовым составом. Однако характерной особенностью низколегированных сталей с ТРИП – эффектом являются достаточно низкие результаты тестов по расширению отверстия коническим пуансоном, которые можно объяснить чрезвычайно высокой чувствительностью скорости превращения аустенита в мартенсит к условиям испытания (напряженному и деформированному состоянию).

Было также установлено, что приложение высокого гидростатического давления ("смягчение" напряженного состояния) оказывает влияние на микромеханизм деформации и разрушения низколегированных сталей с ТРИП – эффектом. В условиях высокого (до 800МПа) гидростатического давления происходит существенный рост пластичности как стали в целом, так и отдельных фаз.

Чувствительность скорости превращения аустенита в мартенсит к условиям испытания оказывает влияние и на сопротивление усталостному разрушению рассматриваемых сталей, которые обладают более высокими значениями усталостных характеристик, чем другие стали с близким уровнем прочности.

По величине энергоемкости разрушения при высокоскоростном растяжении, низколегированные стали с ТРИП – эффектом существенно превосходят не только двухфазные ферритно-мартенситные стали (ДФМС), но и имеющие более высокую прочность перспективные «complex phase» стали — стали со сложной структурой, содержащей феррит, бейнит и мартенсит в различных соотношениях.

В настоящее время продолжается активное исследование высокопрочных низколегированных сталей с ТРИП – эффектом. Однако многие проблемы остаются нерешенными такие, как:

- 1) оптимизация химсостава, микроструктуры;
- 2) технологии изготовления и дальнейшее увеличение прочности.