

Людмила Е. Тихомирова

Новосибирский Институт Инженеров
Железнодорожного Транспорта

СУБСТРУКТУРА И КОНСТРУКТИВНАЯ ПРОЧНОСТЬ СТАЛИ

Для успешной работы различных механизмов необходим высокий уровень конструктивной прочности сплава. Конструктивная прочность включает сопротивление пластической деформации (предел текучести) и уровень вязкости разрушения. Повышенная вязкость разрушения обеспечивается субструктурой, которая определяет характер пластической деформации и уровень напряжений в устье трещины.

Оптимальной субструктурой сплава можно считать такую, которая имеет неравномерное дислокационное распределение, т.е. имеет участки свободные от дислокаций, обеспечивающие локальную релаксацию опасных пиковых напряжений, и содержит прочные барьеры в виде стенок и полигонов, стабилизованных дисперсными фазами.

Средним из методов создания такой субструктуры является высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМС) и ее новые разновидности: способы ВТМЗО и ВТМДС.

ВТМЗО предусматривает аустенитизацию, пластическую деформацию на 15–20% при высокой температуре и последующее охлаждение с изстремительной выдержкой при температурах промежуточного превращения с получением структуры бейнита.

При ВТМДС, после горячей деформации аустенита на 8–10% следует непрерывное охлаждение со скоростью 30–60 град/сек, обеспечивающее получение структуры сорбита или троостита.

Высокий комплекс механических свойств, получаемый в результате ВТМО, ВТМЗО и ВТМДО, определяется наследованием мартенситом, бейнитом и трооститом субструктурой, созданной в горячедеформированном аустените и поэтом изучение прочности аустенита и его структурных изменений в процессе горячей деформации и последеформационной выдержки представляет значительный интерес.

В процессе деформации аустенита, в зависимости от скорости и степени деформации, температуры аустенитизации и свойств обрабатываемого материала, могут протекать динамический возврат и динамическая рекристаллизация. Рекристаллизационные процессы в аустените развиваются в той или иной мере и после окончания его деформации. Эти процессы (отдых, полигонизация, рекристаллизация) в отличие от динамических, протекающих во время деформации аустенита, можно назвать статическими.

Нами экспериментально определялось упрочнение аустенита стали 5ХВ2С в процессе деформации и его разупрочнение в процессе статической рекристаллизации.

Исследования проводились на модернизированной установке ИМАШ-5С-65 с внесением усовершенствований в блок регулирования измерения температуры, в устройство регистрации усилий, прилагаемых к образцу при растяжении и в систему нагружения. Эта установка позволяет нагревать образец до 1200°C в вакууме с точностью $\pm 1^{\circ}\text{C}$, проводить деформацию растяжением с записью диаграммы растяжения и одновременно наблюдать за структурой аустенита.

Схема эксперимента была следующей. Образцы нагревались в установке ИМАШ-5С-65 до 1000°C , выдерживались 20 минут затем проводилась деформация на 10% растяжением. После деформации образец быстро разгружался и ему давалась выдержка при 1000°C от 0 до 1200 секунд. Затем образец нагружался до разрушения и подсчитывалось предельное разрушающее напряжение.

Испытание на растяжение сразу же после предварительной деформации, позволяет определить непосредственно упрочнение аустенита перед развитием процессов статической рекристаллизации. В данном случае прирост составил 15% от общей прочности аустенита до деформации. Этот прирост прочности является следствием наклена и разупрочнения за счет отдельных этапов динамической рекристаллизации, протекающих во время деформации аустенита.

В течение 60 секунд после деформации прочность аустенита практически не снижается. Этот период можно отнести к статическому возврату. Наличие такого инкубационного периода позволяет заключить, что при горячей деформации аустенита, в данном случае, этап динамической рекристаллизации не прошел и деформация была закончена на стадии динамического возврата.

После 60 секунд прочность аустенита резко уменьшается и после 10 минут выдержки при температуре 1000°C прочность деформированного и рекристаллизованного аустенита снизилась до уровня, соответствующего концу аустенитизации (до начала деформации). Снижение прочности аустенита происходит за счет процессов статической рекристаллизации путем коалесценции субзерен и миграции больших угловых границ.

Для установления корреляции между разупрочнением аустенита и прочностью получающегося из него мартенсита на исследуемых образцах в установке ИМАШ-5С-65 осуществлялось мартенситное превращение, как непосредственно после горячей деформации аустенита, так и после указанных выше изотермических выдержек.

Полученные образцы с мартенситной структурой испытывались на поперечный изгиб на специально созданной установке. Запись процесса изгиба в координатах нагрузка-деформация производилась с использованием упругого элемента с тензометрическим полумостом и тензосистемой ТИ-5.

Характер изменения прочности мартенсита после различного времени выдержки аналогичен изменению прочности аустенита. Статический возврат в течение 60 секунд также не вызывает изменения прочности мартенсита. Мало изменяется в этом интервале времени и физическое уширение линий [110]. После инкубационного периода следует резкое снижение прочности мартенсита, полученного из статически рекристаллизованного аустенита. Незначительное повышение прочности аустенита в интервале его выдержки в течение 200–1200 секунд связано с выделением дисперсных карбидов на этой стадии рекристаллизации в аустените.

Характер разупрочнения деформированного аустенита может меняться в зависимости от величины предварительной горячей деформации, так как на процессы статической рекристаллизации, несомненно, влияют предварительно протекающие процессы динамической рекристаллизации.

Правильное понимание процессов динамической и статической рекристаллизации при ТМО позволит вскрыть природу упрочнения при различных видах ТМО и управлять этими процессами с целью создания оптимальной субструктуры.

SUBSTRUKTURA I WYTRZYMAŁOŚĆ KONSTRUKCYJNA STALI

S t r e s z c z e n i e

Obróbka cieplno-mechaniczna (OCM) w zakresie przemian martenzaitycznej, bainitycznej i perlitycznej jest efektywną metodą podwyższania wytrzymałości konstrukcyjnej stali. Ważnym etapem OCM jest proces odkształcenia plastycznego, w którym kształtuje się substruktura austenitu (odpowiedzialnym za ten proces jest dynamiczny nawrót lub dynamiczna rekrytalizacja), z następnym wytrzymaniem, kiedy następuje usunięcie umocnienia zgniotowego w wyniku rekrytalizacji statycznej. Specjalne doświadczenia wykazały, że odkształcenie plastyczne austenitu w temperaturze 1000°C powoduje zwiększenie wytrzymałości stali 5HW2S o 15%, jeśli odkształcenie plastyczne zostało zakończone w stadium nawrotu dynamicznego. Przebiegająca rekrytalizacja statyczna w stadium nawrotu statycznego (w przeciagu 60 sekund) nie obniża wytrzymałości austenitu. Zablokowana przez skupienia węgla poligonalna siatka dyslokacyjna zapewnia podwyższoną granicę plastyczności po OCM a względnie wolne od dyslokacji obszary rozmieszczone lokalnie między ściankami poligonalnymi zabezpieczają dobrą relaksację niebezpiecznych koncentracji naprężeń i wysoką ciągliwość pękania.