

Л. И. ТУШИНСКИЙ

Новосибирский Электротехнический институт

НОВЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ПОВЫШЕНИИ КОНСТРУКТИВНОЙ
ПРОЧНОСТИ СТАЛИ

Резюме. Описываются современные направления в области повышения механических свойств и сопротивления растрескиванию стали путём образования устойчивых дислокационных построений ячеисто-полигонального типа, оптимального выделения дисперсных упрочняющих фаз и создания ультрамелкозернистости особенно во время термомеханической обработки. Производится также анализ свойств мартенситных сталей подвергаемых упрочнению выделением и влияние низкотемпературной термомеханической обработки при использовании эффекта сверхпластичности.

Сопротивление пластическому течению (σ_T), вязкость разрушения (K_{Ic} , δ_c) пластическая деформация до разрушения (δ , ψ), выносливость при циклических нагрузках (σ_{-1}) и другие характеристики, определяют уровень конструктивной прочности стали, надежность и долговечность ответственных конструкций и деталей машин. Многочисленные исследования металловедов и металлофизиков показали, что поведению стали под нагрузкой (испытание или эксплуатации деталей или конструкций) зависит от её структурного состояния, рассматриваемого на макро, микро и субмикроровнях. Современные представления о реальности и дефектности структуры металлов позволяют считать что удачное изменение таких важных характеристик как предел текучести σ_T , пластичность (δ , ψ) и вязкость разрушения (K_{Ic} , δ_c) достигается управлением деталями дислокационной субструктуры стали, упрочняемой различными известными (наклёп, легирование, термообработка) и новыми (ТМО, старение мартенсита, ТРИП-эффект) методами.

Предел текучести (и уровень вязкости разрушения) зависит от природы кристаллической структуры матрицы (сила Пайерлса-Наббарро - σ_H), от энергии взаимодействия дислокации при их размножении и перестроении (σ_D), от деформации матрицы растворенными атомами (σ_P) от торможения дислокации дисперсными фазами (σ_F) и от барьерного действия границ зерен (σ_Z):

$$\sigma_T = f(\sigma_H, \sigma_D, \sigma_P, \sigma_F, \sigma_Z).$$

Существующая структура теории прочности, основывающаяся на главном принципе торможении длинных дислокационных трансляций и разрешения коротких перемещений релаксационного типа, пока не находит принципиально новых путей прес-

должны противоречия между показателями прочности и характеристиками пластичности (вязкости разрушения), существующего всегда и обостряющегося при различных упрочняющих обработках стали.

Наиболее перспективными механизмами дислокационного упрочнения стали следует считать; модель организации устойчивых дислокационных построений ацесто-полигонального типа (σ_d , п.л.), оптимальное выделение дисперсных упрочняющих фаз (σ_ϕ) и создание ультрамелкозернистости (σ_z). Эти рекомендации успешно реализуются на практике при термомеханической обработке, при использовании мартенситностаревших сталей, при проявлении эффекта сверхпластичности и др.

При высокотемпературной термомеханической обработке за счет начальных этапов динамической и статической рекристаллизации в аустените создаются устойчивые дислокационные построения полигонального типа, которые наследуются продуктами его распада при мартенситном, бейнитном или даже перлитном превращениях. Предварительная пластическая деформация устойчивого аустенита изменяет кинетику его распада, что активизирует выделение дисперсных упрочняющих фаз, дополнительно стабилизирующих субструктуру.

Главным дислокационным механизмом, обеспечивающим повышенную пластичность и вязкость разрушения стали при высокотемпературной термомеханической обработке (или её разновидностях ВТМИЗО, ВТМДО, ВТМДИО) является σ_d п.л. - создание устойчивой разветвленной субструктуры.

При использовании мартенситно-старевших сталей существенно изменен главный механизм упрочнения. Вместо тетрагональных искажений мартенсита углеродом (механизм σ_p), что является основным при обычной закалке углеродистых и легированных сталей, создается безуглеродистый, высоконикелевый, пластичный мартенсит, который упрочняется в процессе старения выделениями дисперсных интерметаллидов. В этом случае главным упрочняющим механизмом является создание дисперсных упрочняющих фаз - σ_ϕ .

Упрочнение ТРИП-сталей основывается на сочетании двух самостоятельных и последовательно протекающих событий - это низкотемпературная термомеханическая обработка и проявление эффекта сверхпластичности, вызванной фазовым превращением в процессе пластической деформации. Высоколегированные (20-30% легирующих элементов), метастабильные, аустенитные ТРИП-стали, в структурном состоянии устойчивого аустенита, подвергаются низкотемпературной термомеханической обработке (теплой прокатке) при температуре 350-500°C с отпуском деформации до 80%. Этот технологический этап обеспечивает упрочнение аустенита по механизмам σ_d и σ_ϕ . Вместе с этим, за счет некоторого обеднения углеродом и легирующими элементами, устойчивость деформированного аустенита уменьшается и точка M_d (температура начала образования мартенита деформации) переходит в область положительных температур. При последующей пластической деформации во время испытания или при эксплуатации в объеме упрочненной аустенитной матрицы возникают микрочастицы мартенсита, приводящие к аномальной, общей высокой пластичности образца, элемента конструкции или детали, что в свою очередь, предотвращает опасность внезапного хрупкого разрушения. Повышение пластичности вместе с ростом прочности ТРИП-сталей со-

новьяется на оригинальном решении задачи из области механики разрушения. В сталях со структурой стабильного аустенита сопротивление пластическому течению возникает в связи с развитием его деформационного упрочнения (наклёпа). При значительных внешних нагрузках (перегрузках) развивается локализованное пластическое течение (образование шейки), что приводит к дальнейшей концентрации напряжений возникновению микротрещин, их росту и разрушению. Обычный наклёп устойчивого (стабильного) аустенита не может исключить развития этой обычной схемы в зоне локализованной пластической деформации. При деформации упрочнённых ТРИП-сталей в зоне возникающей шейки образуется мартенсит, который её существенно упрочняет, исключает дальнейшую пластическую деформацию в этом участке и передает её другому, что в итоге обеспечивает равномерную деформацию по всей длине образца.

При конструировании составов и разработке технологии упрочнения ТРИП-сталей не было создано каких либо новых моделей упрочнения. Действительно, при тепловой прокатке (НТМО) значительно возрастает напряжение течения аустенита за счет резкого увеличения числа дислокаций, их стабилизации дисперсными упрочняющими фазами. Увеличение пластичности достигается в отрыве от упрочнения, чисто механическим путем перераспределения внешних и внутренних напряжений в объеме образца или изделия при его эксплуатации.

Наиболее перспективными поисками возможных путей хотя бы частичного преодоления противоречия между прочностью и пластичностью сплавов, могут быть новые разработки комплексных решений (по примеру ТРИП-сталей), сочетающих металлофизические (структурные) достижения с механическими. Любые новые решения будут наиболее успешными в случае создания новой более прогрессивной теории пластической деформации, упрочнения и разрушения металлов.

NOWE OSIĄGNIĘCIA W ZAKRESIE ZWIĘKSZENIA WYTRZYMAŁOŚCI KONSTRUKCYJNEJ STALI

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

Omówiono współczesne kierunki zwiększenia własności wytrzymałościowych i odporności na pękanie stali, przez tworzenie stabilnych konfiguracji dyslokacyjnych typu komórkowo-poligonalnego, optymalne wydzielanie faz dyspersyjnych oraz wytworzenie ultradrobnoziarnistej struktury, szczególnie podczas obróbki cieplno-mechanicznej.

Przeanalizowano także własności stali martenzytycznych utwardzanych wydzieleniowo oraz oddziaływanie niskotemperaturowej obróbki cieplno-mechanicznej w połączeniu z wykorzystaniem efektu nadplastyczności.

THE NEW DEVELOPEMENTS IN THE DOMAIN OF INCREASING
THE CONSTRUCTIONAL STEEL STRENGTH

S u m m a r y

The new directions of growth of strength properties and fracture toughness of steels by stable dislocation configurations formation of cellular-polygonal type, dispersional phase precipitation and super-fine-grained structure formation, particularly during thermo-mechanical treatment, have been discussed. Also dispersion hardened martensitic steel properties and low temperature thermo-mechanical treatment with overplasticity effect utilization have been discussed.