

Термомеханічне зміцнення сталей з низькою стійкістю аустеніту

А. С. Опальчук, доктор технічних наук, професор
А. В. Поліщук

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

На прикладі сталі 70C2XA досліджено особливості структуроутворення та процеси зміцнення сталей високотемпературною термомеханічною обробкою.

Практика експлуатації термомеханічно-зміцнених деталей із сталей з малою стійкістю аустеніту показала значні техніко-економічні переваги даної технології зміцнення порівняно з традиційними методами термічного зміцнення сталей. Виходячи з потреб сільськогосподарського машинобудування, де в основному, використовують вуглецеві і низьколеговані сталі з малою стійкістю аустеніту, необхідно перевагу віддати цьому методу зміцнення із врахуванням використання оптимальних технологічних параметрів технологічного процесу зміцнення сталей з малою стійкістю аустеніту.

Відомо, що стійкість зміцненого стану визначається не тільки термомеханічними параметрами, зокрема запасом вільної енергії системи, а також субструктурою сталей. В процесі термомеханічного зміцнення сталей відбувається утворення відповідної субструктури за рахунок перерозподілу дислокацій в результаті динамічної полігонізації. В такій структурі важливу роль відіграє взаємодія дислокацій зі структурними домішками, зокрема з атомами вуглецю і легуючих елементів. В результаті такої взаємодії навколо дислокацій, розміщених в основному на границях зерен, утворюється підвищена концентрація атомів вуглецю, що гальмує переміщення дислокацій, зменшуючи інтенсивність протікання процесів рекристалізації.

За реальних умов термомеханічного зміцнення необхідно враховувати параметри обробки, від яких залежать процеси протікання коалесценції субзерен полігональної структури, яка в свою чергу залежить від об'ємної дифузії атомів вуглецю.

Таким чином, при високотемпературній деформації сталей процеси рекристалізації протікають зі значно меншою інтенсивністю порівняно з відпалюванням холоднодеформованого сплаву. Виходячи з цього в реальних умовах термомеханічного зміцнення сталей використовують такі параметри обробки, при яких максимальні напруження, необхідні для проходження динамічної рекристалізації, не досягають потрібної величини. Крім того в процесі гарячої деформації для розвитку рекристалізації необхідний час

для протікання коалесценції субзерен полігональної структури, яка в свою чергу контролюється об'ємною дифузією.

У випадку наявності укрупнених зерен структури, коли атомам необхідно дифундувати на значні відстані, швидкість коалесценції зменшується, що є причиною збільшення інкубаційного періоду рекристалізації. Як відомо високотемпературна пластична деформація сталі сприяє утворенню більш стабільної і розвинутої субструктури, яка гальмує процес рекристалізації, але прискорює початок розпаду аустеніту незалежно від його складу і ступеня деформації за рахунок збільшення дифузійної рухомості атомів вуглецю і легуючих елементів.

Нами було встановлено, що для високовуглецевих сталей пластична деформація при 800 – 900 °С практично не впливає на температурний інтервал проміжного (бейнітного) перетворення. В низько- і середньовуглецевих сталях високотемпературна деформація викликає скорочення температурного інтервалу бейнітного перетворення зі зниженням температури деформації сталі до інтервалу бейнітного перетворення відмічено його значне прискорення, особливо зі збільшенням ступеня деформації, а в сталях з підвищенням вмісту вуглецю відмічається пониження інтенсивності розпаду аустеніту. Крім того високотемпературна деформація збільшує швидкість перлітного перетворення, інтенсивність якого зростає з підвищенням ступеня деформації сталі. Кінцеве формування структури і, відповідно, властивостей сталі при термомеханічній обробці, відбувається в процесі фазових перетворень аустеніту в мартенсит, що утворився із деформованого аустеніту.

Основними технологічними факторами, що впливають на фізико-механічні властивості сталей при термомеханічній обробці є температури аустенітизації, ступінь і швидкість деформації, а також витримка від кінця деформації до початку охолодження (гартування). Виявлено, що термомеханічна обробка при прискореному нагріванні струмами високої частоти значно сприяє збільшенню дисперсності мікроструктури після гартування сталі (рис.1). Після термомеханічного зміцнення сталі відбувається не тільки подрібнення мартенситу, а також змінюється їх субструктура реєчного мартенситу з наявністю залишкового аустеніту на границях мартенситних кристалів.

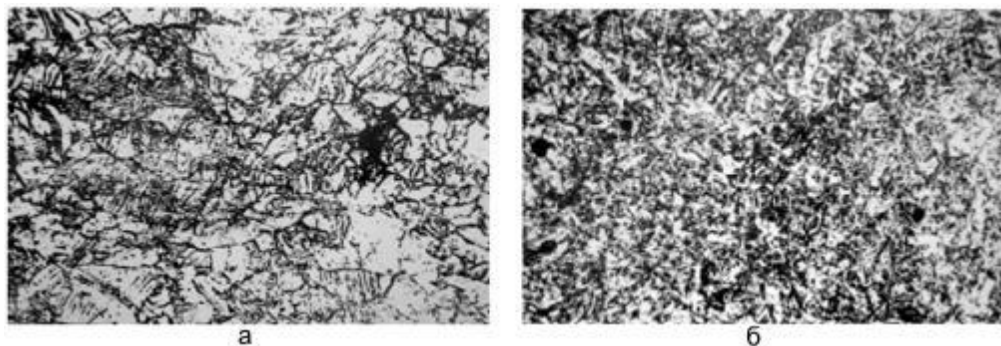


Рис.1. Мікроструктура сталі 70C2XA, зміцненої гартуванням (а) і ВТМО (б). x200.

При дослідженні впливу ступеня деформації аустеніту сталі на механічні властивості було виявлено, що з підвищенням вмісту вуглецю максимальне зміцнення досягається при менших величинах деформації. Термомеханічне зміцнення сталей при прискореному нагріванні струмами високої частоти значно сприяє збільшенню дисперсності мікроструктури і підвищенню фрагментації мартенситу. Максимальне зміцнення сталі відбувається при порівняно невеликих ($\varepsilon = 20 - 25 \%$) ступенях деформації і значним підвищенням характеристик пластичних властивостей і ударної в'язкості сталі.

Встановлено, що при підвищенні вуглецю в сталі термомеханічне зміцнення значно ефективніше впливає на зміцнення сталі порівняно зі звичайним гартуванням. Якщо підвищення вмісту вуглецю від 0,23 до 0,50 % сприяє підвищенню границі міцності на 30 % після гартування з відпуском, то після термомеханічної обробки міцність зростає на 40 %. Максимальне зміцнення сталі при ВТМО зумовлене взаємодією вуглецю з дефектами тонкої кристалічної будови сталі.

З підвищенням кількості вуглецю в сталі оптимальна його концентрація настає при менших ступенях деформації. Таким чином збільшення вуглецю підвищує коефіцієнт зміцнення сталі при термомеханічній обробці, що визначається дією вуглецю на елементи субструктури сталі в результаті взаємодії атомів вуглецю з дислокаціями, в результаті чого утворюється карбідна фаза в місцях наявності дислокацій, що сприяє збільшенню міцності сталі.

Крім того, зменшення перенасичення твердого розчину вуглецем у зв'язку підсиленням його взаємодії з дислокаціями призводить до збільшення дисперсності карбідної фази і, відповідно, до підвищення пластичності середньовуглецевих і високовуглецевих сталей. Підтвердженням взаємодії атомів вуглецю з дислокаціями можуть бути результати досліджень амплітудної залежності внутрішнього тертя. Виявлено, що після термомеханічного зміцнення сталі критичні напруження ($\varepsilon_{кр}$) внутрішнього тертя вищі, ніж після гартування, а відповідно і ступінь закріплення дислокацій атомами вуглецю вищий, оскільки величина $\varepsilon_{кр}$ визначає рівень рухомості дислокацій.

Встановлено також, що з підвищенням ступеня деформації сталі 70С2ХА міцність зростає до початку інтенсивного розвитку процесу рекристалізації, тобто спостерігається екстремальний характер зміни структурно-чутливих властивостей (σ , ψ , δ) залежно від температури деформації сталі.

Таким чином, для певної марки сталі існують оптимальні ступені деформації. Наприклад для сталі 70С2ХА ця ступінь дорівнює 40 % (рис. 2). Зменшення ступеня зміцнення сталі з підвищенням температури деформації до оптимальної можна пояснити збільшенням теплової активації атомів вуглецю, що впливає на процеси насичення структури дефектами кристалічної будови сталі, зокрема дислокаціями.

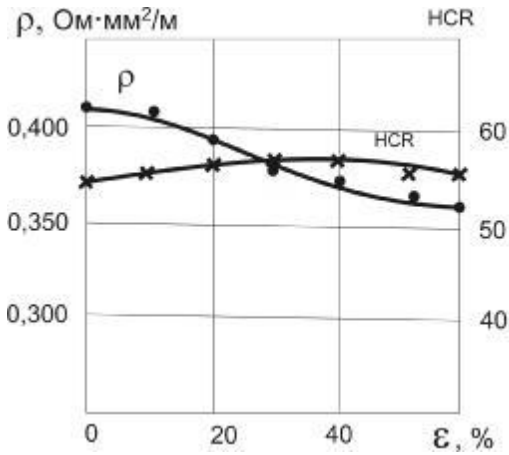
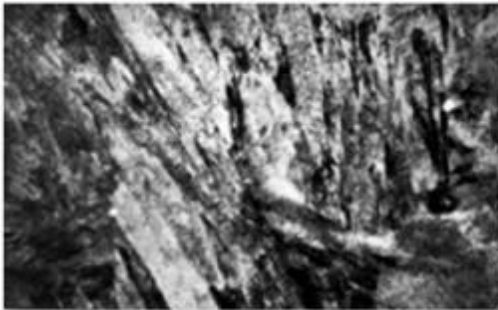


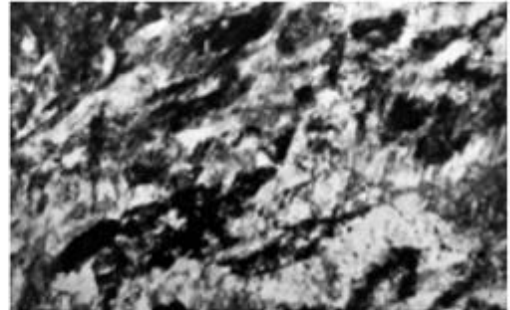
Рис. 2. Вплив ступеня деформації на процеси зміцнення сталі 70C2XA.

При додатковому мікролегуванні досліджуваної сталі рідкісноземельними металами виявлено позитивний вплив на механічні властивості – підвищення ударної в'язкості, твердості.

Із досліджуваних легуючих елементів на збільшення ударної в'язкості найбільше впливає лантан, подрібнюючи аустенітне зерно (рис. 3). Збільшення ступеня деформації при термомеханічній обробці сталей з рідкісноземельними металами на їх властивості проявляється після



а



б



в



г

Рис. 3. Структура сталі 70C2XA з добавками РЗМ після термомеханічного зміцнення ($T_{\text{деф.}} = 850 \text{ }^\circ\text{C}$, $\epsilon = 40 \%$). а – без РЗМ, б – La, в – Ce, г – мішметал. $\times 1200$.

гартування аналогічно збільшенню вмісту вуглецю. Це можна пояснити адсорбцією атомів РЗМ на границях зерен, в місцях накопичення дислокацій, підвищенням стійкості створеної при гарячій пластичній деформації більш розвинутої субструктури.

При дослідженні зміцнених сталей на стабільність властивостей було виявлено, що твердість в сталях без РЗМ знижується значно швидше, ніж в сталях, мікролегованих РЗМ, особливо легованих церієм. Це пов'язано в першу чергу значним гальмуванням рідкісноземельними металами

рекристалізаційних процесів за рахунок адсорбції атомів РЗМ на границях зерен, що зменшує міграцію РЗМ.

Таким чином підвищення механічних властивостей сталей при ВТМО, викликане мікролегуванням рідкісноземельними металами, визначається рядом факторів: подрібненням аустенітних зерен, збільшенням фрагментації аустеніту, наявністю більш рівномірних карбідних включень і їх підвищеною дисперсністю та ефектом рафінування. Мікролегування сталей рідкоземельними металами суттєво не впливає на зміну механічних властивостей в процесі їх відпуску за винятком зберігання більш високих характеристик пластичності.

Література

1. Опальчук А.С. Термомеханическое упрочнение сталей с малой устойчивостью аустенита. Дис. ... докт. техн. наук. – Киев, 1983. – С. 29 – 61.
2. Браун М.П., Опальчук А.С., Фишман К.К. Влияние пластической деформации на кинетику превращения аустенита стали У8А при ВТМО. Термомеханическое упрочнение машиностроительных сталей. – Киев: Знание, 1974. – С. 11 – 12.
3. Бернштейн М.Л., Займовский В.А., Капуткина Л.М. Особенности упрочнения стали при термомеханической обработке // МиТОМ. – 1967. – № 5. – С. 16 – 22.

Одержано 18.05.16

А. С. Опальчук, А. В. Полищук

Термомеханическое упрочнение сталей с низкой устойчивостью аустенита

Резюме

На примере стали 70C2XA исследованы особенности структурообразования и процессы упрочнения сталей высокотемпературной термомеханической обработкой.

A. S. Opalchuk, A. V. Polishchuk

Thermomechanical strengthening of steels with low stability austenite

Summary

The features of structure formation of 70C2XA steel and strengthening processes by thermomechanical hardening are investigated.