

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВ ЛЕГИРОВАНИЯ СТАЛЕЙ С α - γ ПРЕВРАЩЕНИЕМ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОСТОЙКОСТИ И ВТОРИЧНОЙ ТВЁРДОСТИ

В. Б. Бутыгин

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,
г. Барнаул, Россия

Кинематика растворения интерметаллидной фазы при закалке следует закономерности, установленной для быстрорежущих сталей с карбидным упрочнением. Растворение протекает при высоких температурах (950...1300 °С) и при нагреве 1270...1300 °С сопровождается заметным ростом зерна. Высокие теплостойкость и вторичная твёрдость без заметного ухудшения прочности и вязкости сохраняются при мелком зерне (балл 11...10).

Интенсивность упрочнения в процессе последующего дисперсионного твердения наиболее заметно определяется содержанием вольфрама и молибдена. Вторичная твёрдость и теплостойкость непрерывно возрастают с увеличением их суммарного содержания до 18 %. Вторичная твёрдость сталей с Σ (W+Mo) % вес. 11 и 14 % составляет HRC 60 и 65, а теплостойкость — 600 и 650 (для 60 HRC) Эти важнейшие свойства достигали максимальных значений: HRC 67...68 для твёрдости и 700...710 °С для теплостойкости у сталей с Σ (W+Mo) \approx 18 %. Ещё большее повышение содержания вольфрама и молибдена не улучшило эти характеристики и не сопровождалось ростом концентрации этих компонентов в твёрдом растворе закалённой стали. Удельное электросопротивление заметно возрастало (с 0,627 до 0,806 см \cdot мм²/м) при увеличении суммарного содержания вольфрама и молибдена лишь до 18 %. При большем содержании вольфрама и молибдена возрастало количество интерметаллидной фазы (без заметного увеличения легированности твёрдого раствора).

Значительное повышение содержания кобальта: с 23 до 33 % улучшало теплостойкость. Твёрдость 60 HRC сохранялась у сталей с 28 и 33 % Co после нагрева 725 и 735 °С соответственно, вместо 710 °С у стали с 23 % Co.

Влияние кобальта (количество упрочняющей фазы) наблюдалось интенсивнее в измерениях горячей твёрдости и прочности.

При 700 °С сталь с 25 % Co сохраняла твёрдость 510 HV вместо 430 HV у стали с 23 % Co. Повышение содержания кобальта с 23 % до 33 % приводило также к некоторому возрастанию предела текучести при 880 °С (с 440 до 480 МПа)

Вторичная твёрдость стали с 33 % Co лишь немного выше, чем у стали с 23 % на HRC 1,0...1,5.

Эти результаты хорошо согласуются с данными об изменении удельного электросопротивления закалённых и отпущенных сталей. Интенсивность уменьшения удельного электросопротивления после отпуска 620 °С по сравнению с закалённым состоянием больше у сталей с более высоким содержанием кобальта. Оно уменьшается у сталей с 23 и 33 % CO соответственно на 0,466 и 0,576 см \cdot мм²/м.

Таким образом, легированность твёрдого раствора после закалки несколько увеличивается при повышении содержания кобальта сверх 23 %. Это указывает, что кобальт немного усиливает эффект дисперсионного твердения.

Алюминий наиболее значительно повышает теплостойкость и уменьшает интенсивность разупрочнения при повышенном нагреве. Этот эффект достигается уже при повышенном нагреве. Этот эффект достигается уже при его небольшом содержании — 1...2 %. Твёрдость 60 HRC сохраняется у сталей с 1 % Al после нагрева до температур на 20...30 °С более высоким, чем у сталей без алюминия. Увеличение содержания алюминия свыше 2 % не приводит к дальнейшему возрастанию теплостойкости. Положительное влияние алюминия связано с воздействием температуры α - γ -превращения. Дилатометрические исследования установили, что температуры начала и окончания превращения возрастают до 930...970 °С у

стали типа В11М7К23, легированной 1 % Al, вместо 900...930 °С для стали без алюминия.

При легировании алюминием (1...2 %) процессы дисперсионного твердения и температура отпуска, при которых достигается максимум вторичной твёрдости, смещается к более высоким значениям: 600...610 °С вместо 580...590 °С у сталей без алюминия.

Однако, вторичная твёрдость сталей, легированных алюминием, на HRC 1...2 меньше. Металлографический анализ обнаруживает присутствие в структуре сталей, легированных алюминием, небольшое количество более мягкой фазы δ-феррита даже после закалки от 1250 °С. его количество увеличивается с повышением температуры закалки.

Влияние хрома принципиально отличается от влияния алюминия. Уже в присутствии 1...2 % Cr снижается теплостойкость, но без уменьшения вторичной твёрдости. С этим согласуется тот факт, что критические точки стали с 1,5 % Cr на 30 °С ниже, чем у стали без хрома.

Дополнительное легирование алюминием (1...2 %) сталей с хромом приводит к повышению теплостойкости, возмещая лишь отрицательное влияние хрома на поведение стали при нагреве.

Определение механических свойств.

Прочность и вязкость стали изменяются прежде всего пропорционально повышению содержания вольфрама и молибдена. Они достигают максимального значения: соответ-

ственно 2400...2600 МПа и 14 МДж/м² у стали с $\Sigma (W + Mo) = 14$ %. Эти характеристики немного снижаются (до 2300...2500 МПа и 12 МДж/м²) при увеличении содержания вольфрама и молибдена до 18 % за счёт роста избыточной интерметаллидной фазы, т. е. при достижении максимальных теплостойкости и вторичной твёрдости.

Увеличение содержания кобальта сверх 23 % заметно ухудшает механические свойства. Прочность и вязкость стали с 33 % Co не превышает 2000...2200 МПа и 6 МДж/м². это вызвано ростом количества избыточной упрочняющей фазы и увеличением концентрации твёрдого раствора.

Механические свойства снижаются также у сталей с алюминием: 2000...2200 МПа для прочности и до 7 МДж/м² для вязкости (сталь В11М7К23Ю). это – следствие сохранения δ-фазы в структуре.

Лучшее сочетание механических и тепловых свойств у стали с 11 % W, 7 % Mo и 23 % Co (В11М7К23)

Изучение сталей, в которых содержание молибдена систематически повышалось против принятого для В11М7К23 при одновременном уменьшении вольфрама показало, что лучший комплекс механических свойств имеет сталь с 12 % Mo и 3 % W. При твёрдости HRC 67...68 её прочность 2500...2700 МПа, а вязкость – 12...15 МДж/м² (вместо 2300...2500 МПа и 10...12 МДж/м² соответственно у стали В11М7К23).