

повышающих энергию границ зерен. Наконец, из этого перечня не следует исключать и возможное динамическое воздействие при росте мартенситных игл в направлении к границам зерен. Охрупчивание зоны термического влияния в результате фазового превращения зависит от химического состава стали и от применяемого термического цикла сварки, который выражается, например, скоростью охлаждения  $\Delta t$  в интервале температур 800—500°С. Термический цикл сварки можно регулировать путем изменения технологии сварки, параметров режима сварки (погонной энергии) и применения предварительного подогрева или последующего нагрева, т. е. путем управления тепловым режимом сварки. Несмотря на это, отдельные стали целесообразно сравнивать и определять их чувствительность к охрупчиванию вследствие структурных превращений. Кроме углеродного эквивалента, вычисляемого соответственно по методу МИС и японским методом

$$C_{\text{эkv}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Ni} + \text{Cu}}{15}, \quad \%;$$

$$C_{\text{эkv}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Si}}{24} + \frac{\text{Ni}}{40} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Mo}}{4}, \quad \%, \quad (8)$$

применяется несколько параметрических уравнений, из которых наиболее распространенным является уравнение Ито-Бессю [52]

$$P_{CM} = C + \frac{\text{Si}}{30} + \frac{\text{Mn}}{20} + \frac{\text{Cu}}{20} + \frac{\text{Ni}}{60} + \frac{\text{Cr}}{20} + \frac{\text{Mo}}{15} + \frac{\text{V}}{15} + 5B, \quad \%. \quad (9)$$

Это уравнение было выведено на основании результатов испытаний на склонность к образованию трещин типа «Тэцкен». Вообще стали, величина углеродного эквивалента которых выше, чем  $C_{\text{эkv}} = 0,40 \div 0,45$ , следует считать чувствительными к образованию холодных трещин при сварке. Одним из критериев, указывающих на возможное охрупчивание из-за структурных превращений, является твердость зоны термического влияния. И хотя связь этих показателей неоднозначна, у большинства конструкционных сталей величины твердости до  $HV$  350 свидетельствует о том, что образование твердых структурных составляющих при распаде аустенита не происходит. Если твердость зоны термического влияния выше  $HV$  350—400, то в структуре уже присутствует (в случае, если это не дисперсионное упрочнение) смесь твердых продуктов распада аустенита, которые склонны к образованию холодных трещин.

Для обычных нелегированных и низколегированных сталей возможную максимальную величину твердости в зоне термического влияния можно получить расчетным путем на основе химического состава [45]

$$HV_{\text{max}} = 90 + 1050C + 47\text{Si} + 75\text{Mn} + 30\text{Ni} + 31\text{Cr}, \quad \% \quad [ (10)$$

Основным фактором, который влияет на образование холодных трещин, является, однако, воздействие растягивающих остаточных напряжений после окончания сварки. Величина этих напряжений