

влиянием легирующих элементов матрицы стали на свойства боридного слоя и переходной зоны — теплостойкость, пластичность, прочность.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать замену сталей У8, ХВГ, Х12М, Х12Ф1 на сталь типа 5ХЗВЗМФС в условиях работы вырубных штампов, выходящих из строя по причине преимущественного выкрашивания или смятия с последующей химико-термической обработкой процессом борирования.

УДК 669.14:621.78

С.А.Лихачев, Н.С.Траймак

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОУСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ ЛИТЫХ СТАЛЕЙ С КОНЦЕНТРАТОРАМИ

Металлургический передел оказывает существенное влияние на чистоту, структуру и многие свойства литых высоколегированных сталей. Изменение микросегрегации, распределения неметаллических включений и карбидных частиц (а также их размер и форма) определяют работоспособность объектов, изготовленных из литой стали. Однако изучение при обычной выплавке дефектов, присущих литой структуре, затруднительно. Поэтому был принят вариант нанесения искусственных концентраторов различной остроты и глубины. На кольцевые образцы (о 30 мм) резьбошлифовальными кругами наносили надрезы с углом раскрытия 60° , глубиной 0,5; 1,0 и 2,0 мм с радиусом в вершине надреза $0,1 \pm 0,05$ мм; 2,0; 5,0 и 150 мм. Исследования проведены на литой и ковальной стали 5ХЗВЗМФС, применяемой широко для изготовления штампов горячего деформирования металлов. Термообработка образцов проводилась до нанесения концентраторов напряжений по общепринятой технологии на твердость 45 HRC.

Собранные в цилиндрические пакеты образцы термоциклировали на автоматической установке, представляющей собой пневматическое транспортирующее устройство, блок управления, печь-ванну для нагрева и специальный спрейер для охлаждения. Параметры термоциклирования были выбраны из соображений теплостойкости и условий эксплуатации данной стали: нагрев в свинцовой ванне до $640\text{--}650^\circ\text{C}$, охлаждение в проточной воде до $100\text{--}120^\circ\text{C}$, что позволяло подсушивать образцы за счет накопленного в них тепла. Критерием оценки сопротивления термоусталостному разрушению служило количество циклов теплосмен до появления трещины глубиной 15–30 мкм. Для изучения кинетики трещинообразования термоциклирование продолжали до развития трещин на глубину порядка одного миллиметра. Образцы осматривались через каждые 50 циклов теплосмен,

при этом их меняли местами для усреднения условий и продолжали циклирование.

На рабочую поверхность образца наносили 6 одинаковых надрезов, расположенных на равном расстоянии друг от друга, что создавало предпосылки к усреднению результатов и позволило сосредоточить внимание на районах распространения трещин у всех вершин концентраторов. К тому же подобное их расположение приводило к случайному распределению дефектов литой структуры у вершины.

В результате выполненных экспериментов установлено, что наиболее существенное влияние на величину концентрации и максимальную величину напряжений оказывает радиус закругления надреза. При меньшем радиусе большее влияние оказывает и глубина надреза. По мере увеличения радиуса закругления рядом с основной трещиной (нормально направленной к поверхности) появляются мелкие трещины и располагаются под некоторым углом к ней. У литой стали отмечены случаи появления у вершины надреза сильно разветвленного куста трещин, замедленно распространяющихся в глубину при дальнейшем термоциклировании. Это дает основание предполагать, что литая структура может хорошо сопротивляться распространению трещин под действием нагружения, а также быть менее чувствительной к технологическим концентраторам напряжения. Проведенные нами работы по влиянию легирующих элементов и электрошлакового переплава на разгаростойкость литой стали показали, что разброс долговечности в этом случае существенно уменьшается и приближается к ковальной стали того же химического состава.

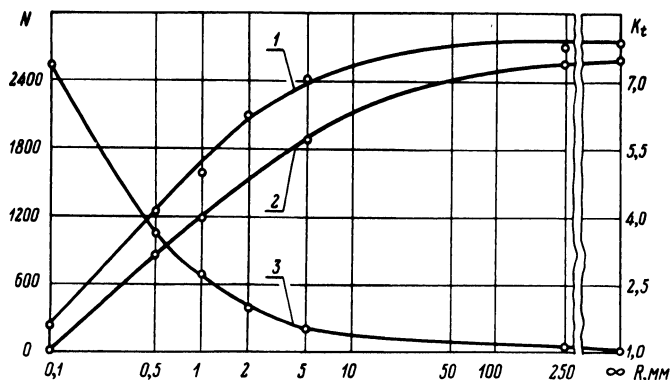


Рис. 1. Влияние параметров надреза на разгаростойкость кованной (1), литой (2) и теоретическую концентрацию напряжений (3) стали 5ХЗВЗМФС (глубина надреза — 1 мм).

Количественное отражение влияния остроты надреза на термоусталостное разрушение представлено на рис. 1. При этом экспериментальные результаты находятся в хорошем соответствии с коэффициентами концентрации

напряжений. Расчет концентрации напряжений проводили по известным формулам (Г.Нейбера), рекомендованным для мелкого надреза,

$$K_T = 1 + 2\sqrt{\frac{H}{R}},$$

где K_T – коэффициент концентрации напряжений; H – глубина надреза; R – радиус у вершины концентратора.

Увеличение остроты надреза приводит к росту коэффициента концентрации напряжений и повышению уровня максимальных напряжений у вершины надреза

$$\sigma_{\max} = \sigma_{\theta \max} K_T,$$

где $\sigma_{\theta \max}$ – максимальное тангенциальное напряжение на поверхности кольцевого образца.

Нанесение более острых концентраторов, чем с радиусом 0,1 мм, не приводило к ускорению разрушения. В то же время любая поверхность после механической обработки (условно принимаем $R = \infty$) имеет бесчисленное множество микроконцентраторов (10–25 мкм). Установлено, что влияние этих микронеровностей на разгаростойкость изменяется в пределах 15–20 %. Это обстоятельство вызвано, с одной стороны, меньшей глубиной концентратора, а с другой, что, по-видимому, наиболее важно, бесконечным их множеством. Образование такого числа трещин практически невозможно, так как для этого потребовалась бы во много раз большая работа разрушения, чем подведенная к образцу во время термоциклирования. В этом случае на поверхности образуется, как правило, меньшее количество трещин, чем плотность неровностей, характеризующих шероховатость.

Глубина надреза более существенно сказывается при малых значениях радиуса закругления. Крупные одиночные с острыми краями дефекты (шлаковые включения, карбиды) приводят к такому же характеру разрушения у места их расположения, как и искусственные концентраторы.

Анализ проведенных экспериментов показывает, что литая сталь может с успехом конкурировать с ковальной, но для этого необходимо: во-первых, уменьшить грубую дефектность литой структуры и, во-вторых, с помощью комплексного легирования улучшить вязкость за счет измельчения структурных составляющих, равномерного расположения дефектов, придания им глобулярной формы.