

Л.С.Ляхович, докт. техн. наук,
А.А.Пикман, инженер,
Б.З.Поляков, канд. техн. наук (БПИ)

ОБЕЗУГЛЕРОЖИВАНИЕ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ЛИТЬЕ В КЕРАМИЧЕСКИЕ ФОРМЫ

Исследовано обезуглероживание отливок из углеродистых сталей при литье в керамические формы. Отливки-призмы из углеродистых сталей 40, У8 и У12 толщиной 52, 73 и 104 мм заливали в формы с жидкостекольной опорной частью и керамической облицовкой с цирконовым и кварцевым наполнителями. Температура заливки - 1560°C. Необходимость исследования вызвана тем, что механическая обработка для эффективного использования точных отливок включает лишь слесарную доводку с припуском 0,05-0,2 мм, что меньше толщины обезуглероженного слоя на поверхности отливки. В результате структура и свойства наиболее важного поверхностного слоя литых деталей оказываются намного ниже, чем у сердцевины, что снижает работоспособность изделия.

Толщину обезуглероженного слоя определяли методом микроскопического анализа и по данным послыдного химического анализа. За толщину обезуглероженного слоя в отливке из эвтектоидной стали принимали поверхностную зону, содержащую структурно свободный феррит. В заэвтектоидной стали обезуглероженный слой включает поверхностную зону со структурно свободным ферритом, эвтектоидную и часть заэвтектоидной зоны, в которой металлографически выявляется меньшее по сравнению с сердцевиной количество вторичного цементита. В доэвтектоидной стали обезуглероженный слой отличается от сердцевины большим количеством феррита и соответственно меньшим - перлита. В эвтектоидной и заэвтектоидной сталях металлографическое определение толщины обезуглероженного слоя не вызывает затруднений. В доэвтектоидной стали определение визуальной оценкой расстояния от поверхности до условной линии, соответствующей структуре сердцевины, сопряжено с большой погрешностью. Для повышения точности использовали в качестве контрольного способа измерение распределения перлита в поверхностном слое доэвтектоидной стали на установке "Эпиквант". Обезуглероженный слой анализировали на вырезанных из отливок образцах в литом состоянии, после отпуска при 650°C и

после отжига при 750°C . Распределение перлита и соответственно углерода в литой и нагретой до 650°C ($<A_{C1}$) стали 40 не является равновесным - сердцевина содержит $0,6 \cdot \text{П}$ ($0,6$ - доля перлита (П) в структуре). После нагрева до 750°C ($>A_{C1}$) в результате перекристаллизации количество выявляемого металлографически перлита уменьшилось до значения, соответствующего равновесному - $0,5 \cdot \text{П}$.

На рис. 1 представлено распределение углерода в поверхностном слое отливок. Точками показаны результаты послойного

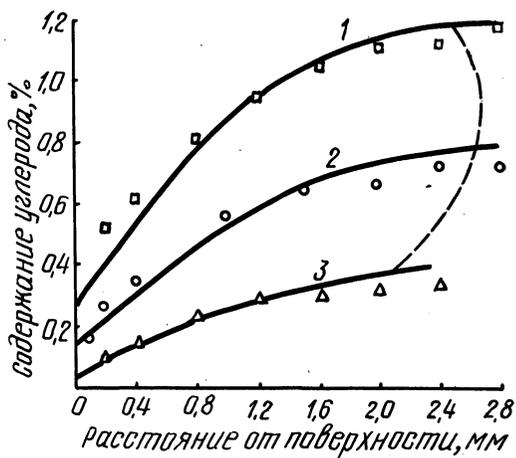


Рис. 1. Распределение углерода по глубине обезуглероженного слоя углеродистых сталей У12 (1), У8 (2) и 40 (3). Точками обозначены экспериментальные данные. Скорость охлаждения $10^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, приведенный размер 20 мм.

химического анализа, сплошными линиями - расчетная зависимость, штриховой линией - зависимость толщины обезуглероженного слоя от содержания углерода в стали. Увеличение содержания углерода в стали не аддитивно влияет на обезуглероживание (рис. 2). Экстремальный характер влияния содержания углерода на толщину обезуглероженного слоя может быть объяснен различием температурного интервала, в котором происходит обезуглероживание углеродистых сталей - $\text{NJE} - \text{GSE}$ (линии диаграммы железо-цементит). Обезуглероживание стали У8 проходит в наибольшем температурном интервале - от температуры окончания затвердевания до температуры перлитного превращения. Температурный интервал обезуглероживания доэвтектоидной стали ограничен температурой начала выделения избыточного феррита (линия GS), а заэвтектоидной стали - вторичного цементита (линия SE). Выделение избыточных фаз (феррита и цементита) по границам зерен аустенита резко тормозит и практически прекращает диффузию углерода из сердцевинных

зерен аустенита к поверхности. Процесс удаления углерода из поверхностей зоны ограничивается с этого момента областью сформировавшегося к началу выделения избыточных фаз обезуглероженного слоя. Понижение температуры от GSE до PSK приводит к дальнейшему некоторому уменьшению количества углерода в обезуглероженном слое без изменения толщины этого слоя.

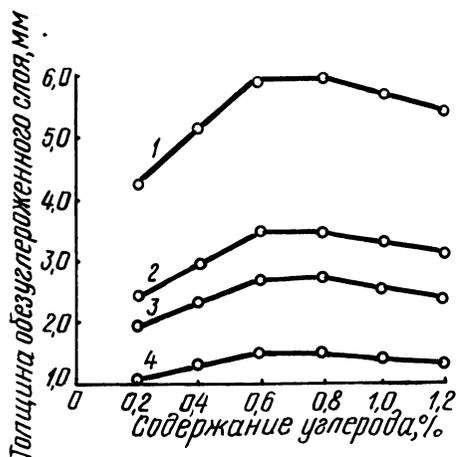


Рис. 2. Зависимость толщины обезуглероженного слоя от содержания углерода в стали и скорости охлаждения (для кривых 1, 2, 3 и 4 скорость охлаждения равна 2, 6 10 и 30°С/мин соответственно).

Для разработки расчетной схемы, дающей представление о кинетике процесса, необходимо учесть, что обезуглероживание отливки происходит при понижении температуры. Весьма важен для расчета выбор граничных условий — температурного интервала обезуглероживания и содержания углерода на поверхности отливки. Содержание углерода на поверхности отливки зависит не только от исходного содержания углерода в стали, но и от условий охлаждения (размера отливки, материала литейной формы) и характера взаимодействия металла отливки с материалом литейной формы и газовой фазой в ней. В расчетной схеме принято, что содержание углерода на поверхности отливки, полученной в керамической форме, определяется главным образом исходным составом стали и равно содержанию углерода в твердом растворе, выделяющемся на начальной стадии затвердевания отливки. В соответствии с диаграммой железо-цементит $S_{пов}$ с увеличением содержания углерода в стали изменяется в соответствии с линией JE. Расчетная формула, полученная на основе известной формулы для расчета обезуглероживания в стационарных условиях интегрированием в температурном интервале обезуглероживания, имеет вид

$$\frac{C_h - C_{\text{пов}}}{C_{\text{исх}} - C_{\text{пов}}} = \operatorname{erf} \left(\frac{h}{2\sqrt{D\tau}} \right), \quad (1)$$

где C_h - концентрация углерода на границе обезуглероженного слоя (принята на 0,02% меньше исходной), %; h - толщина обезуглероженного слоя, мм; $C_{\text{пов}}$ - концентрация углерода на поверхности, %; $C_{\text{исх}}$ - исходное содержание углерода в стали, %;

$$2\sqrt{D\tau} = 20 \cdot v^{-0,5} \left[A \cdot \int_{T_H}^{T_K} \exp(-15754/T) \cdot dT \right]^{1/2} \text{ мм,}$$

где v - скорость охлаждения отливки, $^{\circ}\text{C}/\text{мин}$; $A = 0,06 + 0,08 \cdot C_{\text{исх}}$, %; T_H и T_K - температура начала и окончания процесса обезуглероживания, $^{\circ}\text{C}$.

Расчетные значения толщины обезуглероженного слоя удовлетворительно согласуются с экспериментальными. Отклонение имеет место лишь для поверхностного слоя толщиной 0,5-0,6 мм высокоуглеродистой стали У12. Скорость охлаждения влияет на обезуглероживание интенсивнее, чем содержание углерода в стали.

УДК 621.785.539

Э.П.Пучков, канд. техн. наук,
Г.М.Левченко, канд. техн. наук,
Б.З.Поляков, канд. техн. наук,
А.Ф.Захарова, инженер,
Н.Г.Дубовик, инженер (БПИ)

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ ГОРЯЧЕГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ МЕТАЛЛОВ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Сотрудниками кафедры "Металловедение и термическая обработка металлов" Белорусского политехнического института и ЦЗЛ БелавтоМАЗ разработан способ химико-термической обработки (ХТО), позволяющий производить локальное диффузионное насыщение. С использованием этого способа можно, например, подвергать насыщению только рабочие части штампов, что ведет к значительному сокращению расходов насыщающих смесей. Процесс диффузионного насыщения можно совмещать с процессом нагрева штампов под закалку.