Перераспределение температурных полей в зоне термического восстановления дефекта чугунных корпусных деталей

В статье представлены результаты исследования температурных полей в зоне термического восстановления дефекта чугунных корпусных деталей сельскохозяйственной техники. Дефект рассматривается в виде условной точки. Тепло распространяется вглубь материала детали равномерно в форме полусферы.

Форму распространения теплоты представим в виде девяти концентрических кольцеобразных зон, удаленных от центра нагрева на величину, характеризуемую радиусом зоны. Первая зона имеет радиус R от 0 до 10 мм, вторая – от 10 до 20 мм, … заключительная девятая зона имеет радиус R от 80 до 90 мм. Температура T каждой зоны в определенные моменты текущего времени t представлена в таблице 1. Представляет интерес рассмотрение процесса перераспределения температуры от первой (нагретой) зоны до удаленной (в эксперименте девятой) зоны при остывании с течением времени. Это дает возможность оценить количество теплоты, внесенное в деталь при термическом восстановлении дефекта.

Таблица 1 – Температура T концентрических зон детали в зависимости от времени t продолжительности процесса остывания

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Радиус | t 0 | t 30 | t 60 | t 90 | t 120 | t 150 | t 180 | t 210 | t 240 | t 270 | t 300 | t 330 | t 360 | t 390 | t 420 | t 450 | t 480 |
| 10 | 450 | 300 | 236 | 130 | 122 | 116 | 102 | 95 | 90 | 83 | 82 | 72 | 70 | 69 | 68 | 62 | 60 |
| 20 | 176 | 157 | 144 | 106 | 102 | 97 | 92 | 92 | 88 | 74 | 72 | 66 | 68 | 62 | 63 | 58 | 58 |
| 30 | 114 | 108 | 114 | 95 | 87 | 84 | 84 | 92 | 88 | 71 | 69 | 66 | 62 | 62 | 61 | 58 | 58 |
| 40 | 87 | 95 | 89 | 88 | 72 | 75 | 75 | 86 | 86 | 69 | 62 | 59 | 59 | 59 | 52 | 56 | 56 |
| 50 | 64 | 82 | 80 | 81 | 74 | 74 | 75 | 76 | 76 | 63 | 58 | 54 | 54 | 54 | 54 | 52 | 52 |
| 60 | 52 | 69 | 70 | 76 | 74 | 72 | 75 | 75 | 76 | 63 | 54 | 49 | 48 | 48 | 42 | 40 | 40 |
| 70 | 46 | 62 | 66 | 73 | 72 | 71 | 72 | 72 | 73 | 62 | 53 | 46 | 42 | 42 | 40 | 40 | 38 |
| 80 | 38 | 57 | 58 | 67 | 68 | 69 | 69 | 69 | 69 | 62 | 53 | 44 | 39 | 39 | 38 | 36 | 35 |
| 90 | 32 | 43 | 56 | 58 | 60 | 64 | 66 | 66 | 67 | 62 | 53 | 44 | 39 | 38 | 37 | 34 | 32 |

Распределение температуры T поверхности по зонам в зависимости от радиуса R зоны представлено на графике на рисунке 4.1. По вертикальной оси отложена температура T поверхности в зоне, по горизонтальной оси – радиус R кольцевой зоны. Кривые показывают температуру поверхности при различной продолжительности времени остывания детали: синяя кривая t=0 первый момент после окончания нагрева и начало остывания; красная кривая t=60 по истечении 60 секунд остывания; серая t=120 по истечении 120 секунд остывания; желтая t=180 по истечении 180 секунд остывания.

Рисунок 4.1 – Распределение температуры T поверхности по зонам в зависимости от радиуса зоны R

На графике видно: в первый момент (t=0) температура опускается от максимальной Тmax=450 °С в зоне нагрева R=10 мм до начальной температуры детали Тн=32 °С, в удаленной зоне R=90 мм до которой не дошли изменения температуры в результате нагрева первой зоны. По прошествии времени охлаждения температура первой зоны снижается: при t=60 с до Т=236 °С; при t=120 с до Т=122 °С; при t=180 с до Т=102 °С.

В удаленной зоне R=90 мм наблюдается обратная зависимость: при t=60 с температура возрастает от Т=32 °С до Т=56 °С; при t=120 с до Т=60 °С; при t=180 с до Т=66 °С. То есть, температура первой зоны с течением времени снижается от Тmax=450 °С до Т=102 °С (поверхность остывает), удаленная же зона нагревается от Т=32 °С до Т=69 °С за счет теплопроводности материала из ближних к центру зон.

Перераспределение температуры T кольцевых зон вдоль радиуса R с течением времени t охлаждения детали представлено на рисунке 4.2. Температура близких к центру нагрева зон R=10 мм, R=20 мм и R=30 мм в течение первых 90 секунд интенсивно убывает за счет перемещения тепла в удаленные холодные зоны. Температура удаленных зон R=60 мм, R=70 мм R=80 мм и R=90 мм в течение этого периода растет за счет перемещения тепла от центральных горячих зон. В период от момента t=90 секунд до момента t=240 секунд наблюдается некоторая стабилизация температурного поля: температуры каждой зоны приблизились к средней температуре стабилизации Tс детали после перераспределения и изменяются не значительно. По прошествии момента t=240 секунд температуры зон начинают снижаться за счет теплоотдачи в окружающую среду вплоть до начальной температуры Т=32 °С.

Рисунок 4.2 – Перераспределение температуры T кольцевых зон, сформировавшихся вдоль радиуса R от центра зоны нагрева, в зависимости от продолжительности охлаждения t

Представляет интерес рассмотрение изменения температуры поверхностей в удаленных зонах, рисунок 4.3. В практических расчетах холодные зоны не используются, однако форма кривых в зависимости от продолжительности охлаждения наглядно иллюстрирует характер перераспределения температуры зон с течением времени.

Рисунок 4.3 – Изменение температуры Т поверхностей в удаленных зонах в зависимости от продолжительности t охлаждения

В первые 90 секунд наблюдается рост температуры за счет перемещения тепла от горячих зон в результате теплопроводности материала. В период от девяностой секунды до двести сороковой секунды происходит стабилизация температуры возле среднего значения температуры Tс детали после нагрева и последующего перераспределения температуры изменяется не значительно. Количество теплоты, которое внесено в деталь при нагреве участка восстановления, остается неизменным при перераспределении температуры внутри материала детали, так как скорость распространения тепла внутри материала за счет теплопроводности выше, чем скорость выделения тепла во внешнюю среду, поэтому теплопотерями в данном случае можно пренебречь [Рык.]. Если принять гипотезу о том, что тепло в этот период распределилось равномерно по всему объему материала детали, а температура стабилизации варьирует около среднего значения, то определить количество внесенного в деталь тепла при восстановлении становится достаточно просто: в процессе измерения и в расчетах не требуется учитывать неравномерность распределения тепла в различных зонах детали. Средняя температура стабилизации детали после нагрева и последующего перераспределения температуры, включая температуру зон, бывших горячими, составляет Tср=81 °С, без учета температуры зон, бывших горячими, составляет Tср=72 °С.

С течением времени после двести сороковой секунды наблюдается снижение температуры всех зон детали вплоть до начальной температуры – температуры окружающей среды.

Подводя итог, следует сказать следующее: в результате плакирования ограниченной зоны детали температура нагретой зоны снижается в результате перераспределения температуры за счет теплопроводности материала до средней температуры стабилизации. С течением времени средняя температура детали снижается от температуры стабилизации вплоть до выравнивания с температурой окружающей среды. Средняя температура стабилизации с достаточной достоверностью характеризует величину тепловнесения в деталь при плакировании.