

М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;
С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;
П.В. Журба, студ. (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ДИФфуЗИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ

Многими исследованиями разрушения деталей установлено, что после образования пластических деформаций в локальном объеме образуются микротрещины, развитие которых зависит от величины и знака остаточных напряжений. Так, остаточные напряжения растяжения в ходе длительного воздействия на микротрещины вызывают их увеличение до критических значений, при которых резко снижается прочность и износостойкость деталей, что в итоге приводит к разрушению всей поверхности.

С учетом остаточных напряжений сжатия можно оценивать предельные размеры, а также скорость развития усталостных трещин, а, следовательно, и долговечность всей детали в целом. В ряде работ показано, что остаточные напряжения сжатия существенно замедляют рост образования усталостных трещин. Таким образом, остаточные напряжения сжатия в области локальных пластических деформаций будут замедлять процессы разрушения, протекающие, как правило, с образованием остаточных напряжений растяжения.

В ходе исследований было изучено влияние составов смеси, а также температурно-временных параметров различных процессов упрочнения на распределение остаточных напряжений по глубине поверхностного слоя. Определялся как уровень остаточных напряжений, так и их знак.

Экспериментальное определение характера распределения остаточных напряжений в упрочненных различными методами диффузионных слоях на косых шлифах образцов размерами 10×10×10 мм методом рентгеноструктурного анализа проведено на установке фирмы Bruker. Микронапряжения связаны с неоднородной упругой деформацией кристаллической решетки металла и характеризуются величиной относительной микродеформации решетки [8] по формуле (1):

$$\sigma_{II} = E \cdot \left(\frac{\Delta a}{a} \right) + \frac{E_{\beta}}{4 \cdot R \cdot \operatorname{tg} \Theta} \quad (1)$$

где E – модуль упругости, МПа; β – физическое уширение интерференционной линии; R – радиус камеры или радиус окружности, по ко-

торой движется счетчик (дифрактометр и т.д.), мм; Θ – угол отражения соответствующей интерференционной линии.

Диаметр блоков когерентного рассеяния в направлении, перпендикулярном кристаллографической плоскости, отражение от которой зафиксировано на дифрактограмме, определяется из соотношения по формуле (2):

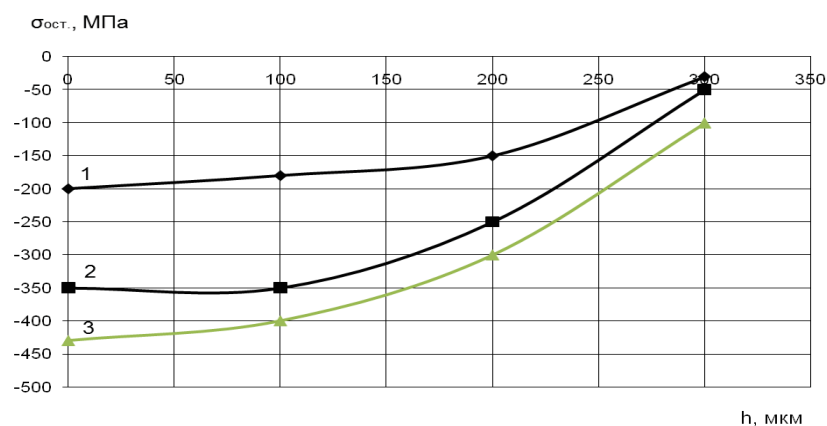
$$D = \frac{0,94 \cdot \lambda \cdot R}{\beta \cdot \cos \Theta} \quad (2)$$

Физическое уширение интерференционной линии β может быть определено при обработке рентгенограммы исследуемого образца и сравнении ее с рентгенограммой эталонного. Уширение вызвано неоднородностью излучения, геометрическими условиями съемки или структурными особенностями материала (микронапряжения, измельчение блоков, неоднородность химического состава и т. д.).

При обработке результатов рентгеновского анализа определяли ширину интерференционной линии на дифрактограмме, ее ширину с поправкой на монохроматичность излучения и физическое уширение β , полученное после внесения поправки на геометрические условия съемки, так как ширина одноименной линии эталона обусловлена только геометрическими условиями съемки – инструментальным фактором. Для этого предварительно отжигом добивались снятия микронапряжений в эталоне и обеспечения величины блоков D более 10^{-7} м.

Таким образом, физическое уширение интерференционной линии на рентгенограмме металла или сплава обусловлено только физическими факторами, т.е. связанными с реальной структурой сплава. Уровень микродеформаций и величину блоков когерентного рассеивания находили с использованием методики. Съемки проводились с использованием излучения Сока; анализировалось физическое уширение линий (110) и (211).

На рисунке 1 представлен график распределения остаточных напряжений сжатия по глубине упрочненных слоев с исследованием изучаемых составов насыщения при различных температурно-временных параметрах процессов ХТО. Из графиков видно, что в результате изменения удельных объемов при фазовых превращениях, различных коэффициентов линейного расширения материалов упрочненного слоя и основы металла возникают остаточные напряжения сжатия с большим градиентом по глубине поверхностного слоя, величина которого зависит от способа ХТО.



1 – 900 °C; 2 – 950 °C; 3 – 1020 °C

Рисунок 1 – Распределение остаточных напряжений сжатия по глубине упрочненного боросилицированием слоя на стали 20X при различных температурах насыщения

Наибольших значений остаточные напряжения сжатия достигают при проведении борирования с температурой насыщения 1020 °C. Для всех рассматриваемых составов и температурно-временных параметров поверхностного упрочнения максимальных значений остаточные напряжения достигают на поверхности образцов и уменьшаются при переходе к основе металла.

При этом важно, чтобы переход к основе металла осуществлялся без каких-либо скачков уровня остаточных напряжений сжатия. Было установлено, что с увеличением времени и температуры насыщения при проведении борирования и боросилицирования уровень остаточных напряжений сжатия повышается.

При этом с повышением температуры насыщения происходит увеличение уровня остаточных напряжений сжатия как на поверхности, так на глубине 150–200 мкм, что дополнительно повышает прочность и износостойкость упрочненного слоя.

Экспериментальные результаты свидетельствуют о достаточно равномерном распределении остаточных напряжений сжатия по глубине слоя, особенно при упрочнении методом боросилицирования, что хорошо согласуется с распределением микротвердости и микрохрупкости по глубине поверхностного слоя.

Можно высказать предположение, что у такого упрочненного слоя должна быть прочная связь с основой металла. Это важно для работы деталей, работающих при высоких динамических нагрузках.