

5. Государственная программа развития цифровой экономики в Туркменистане на 2021-2025 годы. - Ашхабад, 2021 г.

6. Гельдымухамедова О. и др. Цифровая экономика. Учебник для вузов. Туркменская государственная издательская служба. - Ашхабад, 2021 г.

УДК 634.377

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИФФУЗИОННОГО НАСЫЩЕНИЯ НА УРОВЕНЬ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ

INFLUENCE OF TEMPERATURE-TIME PARAMETERS OF DIFFUSION SATURATION ON THE LEVEL OF STRESS IN THE SURFACE LAYER

Пищов Михаил Николаевич, кан. техн. наук, доцент,
Бельский Сергей Евграфович, кан. техн. наук, доцент
Pishchov Mikhail Nikolaevich, Can. tech. Sciences, Associate Professor,
Belsky Sergey Evgrafovich, Can. tech. Sciences, Associate Professor

*Белорусский государственный технологический университет
Belarusian State Technological University*

Аннотация: в данной статье определены остаточные напряжения в поверхностном слое образцов после проведения их упрочнения. С учетом остаточных напряжений сжатия можно оценивать предельные размеры, а также скорость развития усталостных трещин, а, следовательно, и долговечность всей детали в целом. Так было установлено, что наибольших значений остаточные напряжения сжатия достигают при проведении борирования с температурой насыщения 1020 °С. 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. Также было установлено, что с увеличением времени и температуры насыщения при проведении борирования и боросилицирования уровень остаточных напряжений сжатия повышается, что способствует повышению эксплуатационного ресурса деталей в целом.

Abstract: this article determines the residual stresses in the surface layer of the samples after their hardening. Taking into account the residual compressive stresses, it is possible to estimate the maximum dimensions, as well as the rate of development of fatigue cracks, and, consequently, the durability of the entire part as a whole. Thus, it was found that the highest values of residual compressive stresses are achieved when boriding is carried out at a saturation temperature of 1020 °С. For all the considered compositions and temperature-time parameters of

surface hardening, residual stresses reach their maximum values on the surface of the samples and decrease when moving to the metal base. It was also found that with increasing time and saturation temperature during boriding and borosiliconization, the level of residual compressive stresses increases, which helps to increase the service life of parts as a whole.

Ключевые слова: напряжение, поверхностный упрочненный слой, упрочнение, остаточные напряжения, детали машин, прочность, износостойкость, деформации, испытания.

Key words: stress, surface hardened layer, hardening, residual stresses, machine parts, strength, wear resistance, deformation, testing.

Многими исследованиями разрушения деталей установлено, что после образования пластических деформаций в локальном объеме образуются микротрещины, развитие которых зависит от величины и знака остаточных напряжений [1]. 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 [2].

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, а также способствуют увеличению износостойкости поверхности. Таким образом, остаточные напряжения сжатия в области локальных пластических деформаций будут замедлять процессы разрушения, протекающие как правило с образованием остаточных напряжений растяжения [3-5].

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 $10 \times 10 \times 10$ мм методом рентгеноструктурного анализа проведено на установке фирмы Bruker. Микронапряжения связаны с неоднородной упругой деформацией кристаллической решетки металла и характеризуются величиной относительной микро деформации решетки $\Delta a/a$ [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 которой 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):

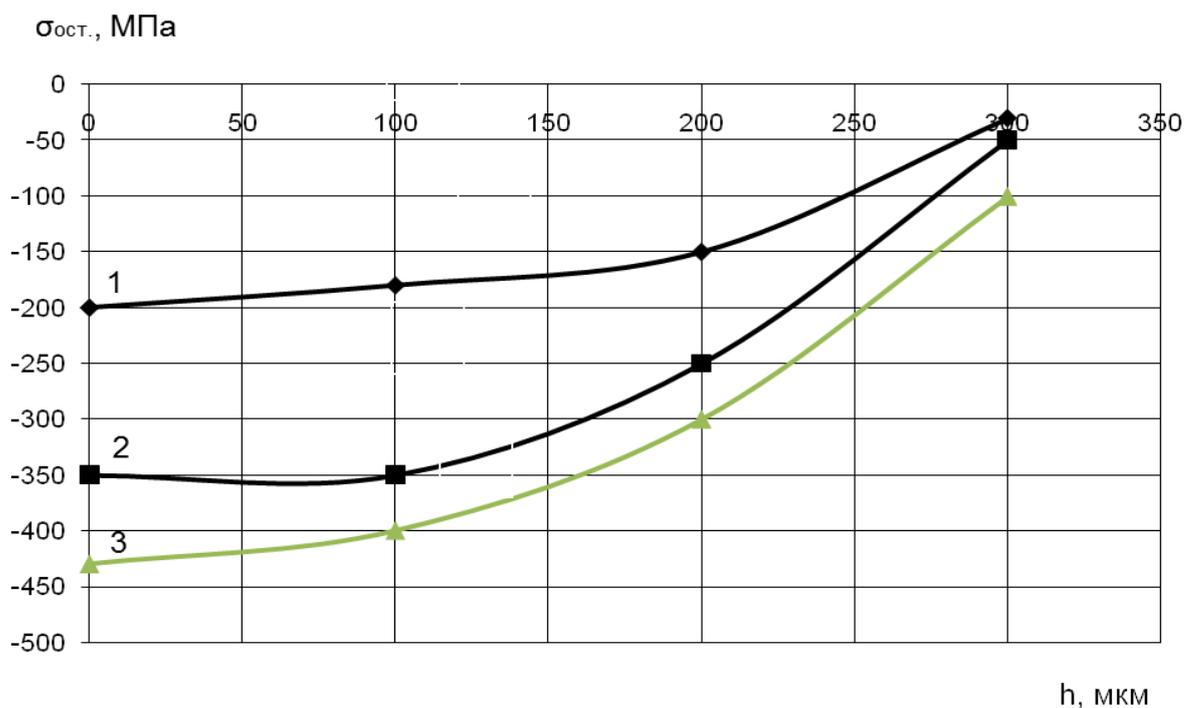
$$D = \frac{0,94 \cdot \lambda \cdot R}{\beta \cdot \cos \Theta}. \quad (2)$$

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 СоK_α ; 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

Рис. 1. Распределение остаточных напряжений сжатия по глубине упрочненного боросилицированного 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 [6].

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.

На основании приведенных данных исследований, можно высказать предположение о том, что у такого упрочненного слоя должна быть прочная

связь с основной металла. Это важно для работы деталей, работающих при высоких динамических нагрузках и динамических колебаниях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ляхович, Л.С. Химико-термическая обработка металлов и сплавов / Л.С. Ляхович, И.А. Рищев, Э.Д. Щербаков, В.В. Сурков // Труды всесоюзной конференции, Минск, 1971.
2. Мельник, П.И. Металловедение и термическая обработка металлов / П.И. Мельник, С.И. Резник //, № 9, 1968.
3. Биргер, И.А. Остаточные напряжения / И.А. Биргер // – М.: Машгиз, 1963 – 240 с.
4. Ящерицын, П.Н. Остаточные напряжения при электромагнитной наплавке / П.Н. Ящерицын, С.С. Макаревич, А.П. Ракомсин, Л.М. Кожуро // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз-техн. наук. 2000. № 2. – С. 62 – 65.
5. Коваленко, А.Д. Основы термоупругости – Киев; Навукова думка. 1970 – 306 с.
6. Мрочек, Ж.А. Остаточные напряжения / Ж.А. Мрочек, С.С. Макаревич, Л.М. Кожуро, М.Ф. Пашкевич, А.Ф. Ильющенко // Учебное пособие, Минск, 2003 г.

УДК 378.14

СОВРЕМЕННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В ПОДГОТОВКЕ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ-МЕХАНИКОВ

Аманов Мердан Эсенгулыевич, старший преподаватель,
Агабаев Нурмухаммет, старший преподаватель,
Туркменский государственный архитектурно-строительный институт
djelaletdin@gmail.com

MODERN TECHNICAL EDUCATION IN THE PREPARATION OF FUTURE MECHANICAL ENGINEER

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические решения перспектив развития современного профессионального образования в рамках стратегии устойчивого развития экономики в период глобального технологического прогресса (цифровое информационное пространство, инновационные технологии). Уровень развития современной инновационной экономики в значительной степени определяется качеством профессиональных кадров. На современном этапе развития государства знания как экономический ресурс, приобретают все более прогрессивный характер.

Другими словами, это требование уникальности и узкой специализации