

«М.А.Гендельманнның 110 жылдығына арналған «Сейфуллин оқулары – 19» халықаралық ғылыми-практикалық конференциясының материалдары = Материалы международной научно-практической конференции «Сейфуллинские чтения – 19», посвященной 110 - летию М.А. Гендельмана». - 2023 .- Т.І, Ч.І.- С. 359-362.

УДК 621.78

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

*Ремшев Е.Ю., к.т.н., доцент
Балтийского государственного технического университета
«ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф.Устинова, Руководитель Центра коллективного
пользования «Центр исследования материалов», г.Санкт-Петербург*

Современные исследования физики твердых тел, в том числе, в области металловедения позволяют глубже понять связь структуры и свойств металлов и сплавов. Многообразие структурных форм, определяемое величинами воздействия, химическим составом и т.д., приводит к необходимости проведения детальных исследований влияния различных физических полей, чаще всего комплексного характера, на структуру и физико-механические свойства. Исследования в области дефектов строения кристаллических тел позволили, используя теорию дислокаций, объяснить громадное отличие теоретической прочности металлов от фактических значений ее. Таким образом, большинство современных исследований направлено на разработку методов и средств воздействия на металлы и сплавы с целью приблизить их физико-механические свойства к теоретическим. Среди основных наукоемких технологий проанализируем следующие:

- ультразвуковая обработка металлов;
- термическая обработка при воздействии магнитным полем и импульсным электрическим током на металлов и сплавов;
- термоциклическая обработка металлов (ТЦО);
- термическая обработка плазмой;
- плазменные порошковые покрытия;
- тонкопленочные износостойкие покрытия и их разновидности;
- обработка холодом;
- использование алмазов и алмазоподобных покрытий;
- лазерная закалка сталей и сплавов;
- комплексное лазерное легирование и химико-термическая обработка;
- лазерная обработка покрытий, полученных методами химического или физического осаждения;
- плазменная обработка.

Циклическое нагружение – один из самых распространенных видов механического воздействия. Более 80% изделий применяемых в

промышленности выходят из строя вследствие явления усталости, поэтому вопросу уделяется значительное внимание. Исследование [1], проведенное на стандартных образцах из сталей Ст 3 и 12Х18Н10Т путем многократного (50- кратного) предварительного нагружения до напряжения $> \sigma_{0,2}$ с частотой за цикл 80 сек., показало, что предел текучести $\sigma_{0,2}$ возрастает на ~14%, характеристики пластичности при этом не изменяются. Последующее старение этих образцов (2ч. при 200°С) обеспечивает дополнительный рост $\sigma_{0,2}$ на 20% при снижении пластичности на ~3-7%, что объясняется закреплением дислокаций атомами углерода; 50- кратное предварительное нагружение до напряжения $> 0,9 \sigma_{0,2}$ и до $\sigma_{0,2}$ образцов стали 12Х18Н10Т увеличивают $\sigma_{0,2}$ на 5% и 12% соответственно, характеристики пластичности (δ , ψ) при этом не изменяются. При 100- кратном предварительном нагружении до напряжения $\sigma_{0,2}$ с частотой мин. за цикл, $\sigma_{0,2}$ возрастает на 14%, дальнейшее увеличение числа циклов и частоты не оказывает влияния.

В работе [2] показано, что высокочастотные колебания, ударное нагружение образцов из железа (амплитуда колебаний 20 мкм., частота - 10^4 - 10^5) вызывают ускорение диффузионных процессов (исследования проводились методом радиоактивных изотопов Fe 55,59), что объясняется авторами междоузельным механизмом миграции атомов.

Усталостный процесс при циклических воздействиях рассматривается как результат преобразования механической энергии в тепловую (структурно-энергетическая теория). Под воздействием освобождающейся энергии при циклических нагружениях возникают локальные пики напряжений, сопровождаемые искажением кристаллической решетки и всплесками температуры, приводящей к локальной нестабильности стали и выделений субмикроскопических нитридов, карбидов, оксидов и др. Так при циклическом нагружении переменным изгибом закаленных отпущенных образцов из стали 18ХНМА в местах опасного сечения методом электролитического растворения и химического анализа было обнаружено значительное выделение дисперсных карбидов. Наиболее интенсивно их выделение происходило при напряжениях достигающих предела усталости. Выделение специальных карбидов наблюдалось и после испытания на многократное растяжение- сжатие аустенитной, дисперсионно твердеющей нержавеющей стали, содержащей: 0,45%С, 25%Ni, 15%Cr, 1,18%Mo, 1,78%Ti, 0,20%V.

Таким образом длительная знакопеременная нагрузка вызывает выделение высокодисперсных карбидов в результате поглощения металлом механической энергии, достаточной для протекания соответствующих физико – химических процессов. Однако в зависимости от исходной структуры возможно как диспергирование так и укрупнение частиц карбида. Это было обнаружено при испытаниях на усталость (симметричный изгиб) образцов из стали 9Х и У8 с исходной структурой зернистый и пластинчатый перлит соответственно. Было выявлено сильное влияние исходной структуры на

последующие изменения при циклическом нагружении скольжение происходило преимущественно в феррите. При исходной структуре зернистого перлита наблюдалось слияние частиц цементита ($\sigma = 0,95 \sigma^{-1}$, при $N = 2 \cdot 10^6$). При исходной структуре пластинчатого перлита в зависимости от интенсивности нагружения следы скольжения проходили по ферритным зернам не повреждая пластин цементита или приводили к дроблению и разрушению. При расположении пластин цементита под углом к направлению скольжения помимо дробления обнаруживалось рассасывание высокодисперсных карбидов с образованием каплеобразной или лепестковой их формы.

Широко используется ультразвуковая обработка (УЗО) жидких металлов в стадии кристаллизации, что обеспечивает измельчение макро и микро зерен, уменьшение зоны столбчатых кристаллов, улучшение механических свойств.

Известно, что при УЗО происходит увеличение плотности дефектов кристаллического строения (дислокаций, вакансий), что в свою очередь влияет на кинетику протекания диффузионных процессов и процессов пластической деформации. Изучение влияния УЗО на структуру алюминиевых сплавов показало, что при УЗО при температуре -30°C (амплитуда колебаний $\Phi = 9 \text{ мк}$ в течение 25 мин.) увеличивает плотность дислокаций с $1 \cdot 10^6$ до $5-7,3 \cdot 10^6 / \text{см}^2$. УЗО сплава Al-4%Cu при 280°C в течение 30 мин. приводит к перераспределению дислокаций: образуются области с большой и малой плотностью, т.е. протекает процесс полигонизации. Таким образом эффект повышения плотности дефектов кристаллического строения наиболее ярко выражен в случае УЗО при отрицательных температурах. Разогрев сплава по мере увеличения длительности обработки приводит к развитию второй стадии процесса возврата деформируемого металла - полигонизации. В работе [4] исследовалось влияние УЗО (частота 22 кГц, амплитуда 16 мк.) на литые алюминиевые сплавы (Al-9,9 - 10,8%Mg).

У сплава Al-10,8%Mg, имевшего после закалки небольшое количество дислокаций, УЗО приводит к появлению полос скольжения, дислокационных петель, особенно у границ зерен. Аналогичные изменения наблюдались у сплава Al-9,9%Mg.

В работе [5] рассмотрено влияние ультра звуковых деформаций на кинетику перлитных превращений в стали 50Г4. (C-0,44%, Si-0,25, Mn-4.16, Fe-остальное). Установлено, что существует некоторая пороговая деформация (ε_1), ниже которой не происходит изменения под воздействием УЗО в процессе изотермического превращения аустенита в перлитной области. При $\varepsilon > \varepsilon_1$ происходит ускорение процесса аустенита тем сильнее, чем выше амплитуда.

Влияние УЗО на процессы отпуска стали рассмотрены в работе [6]. На примере сталей 10X2 10Г2 показано, что ультразвук интенсифицирует процесс обеднения матрицы Cr, Mn, а также сдвигает процессы распада метастабильных карбидов χ и ε к более низким температурам. Количество цементита в обработанных сталях больше, чем в сталях исходного состояния. Это позволяет

авторам предположить, что состав цементита не соответствует его стехиометрической формуле Fe_3C и образующийся под воздействием ультразвука цементит оказывается дефектным по углероду.

Кроме того под воздействием ультразвука снижается верхняя температурная граница существования метастабильных карбидов χ и ϵ . Ультразвук способствует переходу легирующих элементов из матрицы в карбидную фазу, в основном в высоколегированный цементит. Этот эффект более отчетливо проявляется в хромистой стали по сравнению с марганцовистой.

Обзор исследований влияния циклического нагружения на структуру и механические свойства материалов позволяет сделать следующие выводы:

1. Проведенные исследования данного типа относятся в основном к низкочастотному (частота $\ll 1$ Гц) и ультразвуковому диапазону.

2. Циклическое нагружение с достаточно большими напряжениями (близкими к условному пределу текучести) приводит к существенному изменению микроструктуры и субструктуры материала, увеличению плотности дислокаций и точечных дефектов кристаллического строения и, как следствие, повышение прочностных характеристик.

3. УЗО оказывает влияние на кинетику фазовых превращений. При УЗО твердых кристаллических материалов влияние обработки имеет место только при условии, что деформация превышает некоторую пороговую деформацию (ϵ_1).

Список использованной литературы

1. Гарбер Р. И., Солошенко И. И., Халдей О. А., ФТТ, 1965, 7, 2655.
2. Гарбер Р. И., Шафнер Е. Д. Упрочнение стали в результате итературимногократного в макроскопически упругой области, 2013, -875с.
3. Попов Е. Г., Попова Н. В., Федорова И. П. Структурные изменения в железоуглеродистых сплавах при импульсном воздействии высоких температур и давлений. ДиХОМ, 1979, №2.
4. Абрамов О. В., Ковалев А. И., Смирнов О. М. Влияние ультразвуковой обработки на дислокационную структуру алюминия и сплава Al-4% Cu. ДИХОМ, 4, 1974, - 235с.
5. Абрамов О. В., Филоненко В. А. Кристаллизация эвтектик в поле ультразвука. ДиХОМ, №1, 1974 С.25-32
6. Вильданова Н. Ф., Гайдуков М. Г., Носкова Н. И. и др. Влияние ультразвуковой обработки на микроструктуру и характеристики ползучести литого сплава. АЛ27 ДМиМ, том 39, 1975, вып. 2
7. Канаев А.Т., Ремшев Е.Ю., Молдахметова А.Е., Калугина М.С. Сравнительная оценка предела текучести феррито-перлитных сталей по параметрам структуры //Вестник Машиностроения» 2022 года. № 12 – Санкт-Петербург: 2022. – С.67-72 (*Scopus Q3-2*)