

наплавляемого металла от степени защиты его от окисления (которая всегда хуже, чем защита в вакууме), низкий КПД процесса (термический КПД лазерного нагрева составляет порядка 7... 15 % в сравнении с 75 % для электроннолучевого нагрева), более высокая стоимость лазерного оборудования, более сложные электромеханические системы управления потоком лазерного излучения. Известны результаты, полученные при наплавке самофлюсующихся порошков различного химического состава системы Ni-Cr-B-Si: (ПР- Н77Х15СЗР2. ПГ-10Н-01, ПГ-12Н-02) с подачей их в зону действия лазерного излучения дозатором - питателем.

Известно, что лазерная наплавка рабочих поверхностей пуансонов из стали 5ХНМ дает повышение стойкости на кривошипном прессе в 2 раза, на горизонтально-ковочной машине - в 6 раз, повышение жаропрочности наплавки в 4...5 раз по сравнению с вакуумно-плазменным покрытием.

Оценка износостойкости на трение скольжения по пальчиковой схеме показала, что стойкость никель-хром-бор-кремниевых сплавов, наплавленных лазерным излучением, в 3...5 раз выше износостойкости плазменного покрытия, оплавленного газовой горелкой и 10 раз выше, чем наплавленных токами высокой частоты.

В зарубежных публикациях по лазерной наплавке большое внимание уделяется процессам оплавления плазменных покрытий. Это приводит к устранению пористости, присущей процессам напыления, а также к значительному повышению прочности сцепления покрытия с основой. Положительными моментами оплавления покрытий из само флюсующихся Ni- Cr-B-Si сплавов является существенное уменьшение шероховатости поверхности и повышение коррозионной стойкости.

Лазерная наплавка, благодаря возможности точной подачи энергии, возможности полной автоматизации и другим положительным эффектам значительно расширяет технологические возможности производства, повышает его экономический и технический уровень, улучшает служебные свойства новой техники. Однако лазерная наплавка имеет определенную область применения и присущие ей недостатки и поэтому в некоторых случаях уступает другим методам наплавки, в том числе и с использованием электронных пучков.

Список литературы

1. Радченко М.В. Защитные и упрочняющие покрытия Конспект лекций. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. - 113 с.
2. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов М.: Машиностроение, 1989. - 304 с
3. <http://www.mmsv.ru/articles/283/1245/>

ФОРМИРОВАНИЕ ГРАДИЕНТНОЙ СТРУКТУРЫ В ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТАЛИ 30ХГСН2А МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

О.В. САБАНЦЕВА, И.Л. СТРЕЛКОВА

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Институт физики высоких технологий

Введение

Создание новых образцов техники, в частности авиационной и ракетно-космической, предъявляет повышенные требования к свойствам конструкционных

материалов, из которых изготавливают детали и узлы конструкций ответственного назначения. Эксплуатационная надежность таких изделий зависит от качества изготовления входящих деталей и состояния их поверхностного слоя. Поскольку элементы таких конструкций в условиях эксплуатации подвергаются интенсивным знакопеременным нагрузкам, материалы, применяемые для их изготовления, должны обладать высоким сопротивлением усталости. Величина предела выносливости при усталостном нагружении определяется состоянием поверхностного слоя материала. Она может быть значительно повышена методом поверхностного ультразвукового деформирования.

Разработанные в ИФПМ СО РАН методы поверхностной обработки путем ультразвуковой механическойковки, совмещенной с ионной имплантацией, показали хорошие результаты применительно ко многим конструкционным материалам [1]. В результате удается в 1.5-2 раза повысить их усталостную долговечность.

Задача данного исследования состоит в изучении влияния поверхностного ультразвукового деформирования на механические свойства, микроструктурное состояние и характер разрушения высокопрочной стали авиационного назначения с целью повышения ее усталостной долговечности и износостойкости.

Материал и методика исследования

Объектом для исследования является высокопрочная сталь марки 30ХГСН2А, следующего химического состава: 0.27-0.34% С, 0.9-1.20% Si, 1.00-1.30% Mn, 0.90-1.20% Cr, 1.40-1.80% Ni. Исследуемые образцы подвергали закалке от 890°C в масло с последующим низким отпуском при 230°C с выдержкой в печи в течение трех часов и охлаждением на воздухе. Для механических и металлографических исследований образцы вырезали электроэрозионным способом и по стандартной методике готовили микрошлифы.

После термической обработки сталь имеет зеренную микроструктуру ($d \sim 7-10$ мкм), представляющую собой реечный мартенсит с плотностью дислокаций $\rho = 10^{11} \text{ см}^{-2}$, небольшое количество остаточного (до 0,5%) карбида цементитного типа размерами 0,4-1 мкм и остаточного аустенита (до 5%), расположенного по границам мартенситных кристаллов в виде тонких прослоек толщиной 10-20 нм [2].

Поверхностное ультразвуковое деформирование образцов после чистового шлифования осуществляли на установке, выполненной на базе фрезерного станка по методике, описанной в работе [3]. Схема обработки приведена на рис. 1. В процессе обработки на поверхности образца формировались прямые продольные дорожки с периодом смещения индентора на $\frac{1}{2}$ диаметра отпечатка шарика.

Испытания на ударную вязкость проводили на маятниковом копре JB 300 со скоростью движения маятника в момент удара 5,5 м/с и максимальной энергией 300 Дж. Структурно-фазовое состояние стали до и после поверхностного ультразвукового деформирования исследовали с помощью методов оптической металлографии (Axiovert 25CA) и растровой электронной микроскопии (Carl Zeiss Evo 50 XVP (центр коллективного пользования «Нанотех» ИФПМ СО РАН)). Распределение микротвердости H_v по глубине шлифа от поверхности анализировали с помощью полуавтоматического прибора DURAMIN-5 с нагрузкой 100 г и временем выдержки $t = 12$ сек.

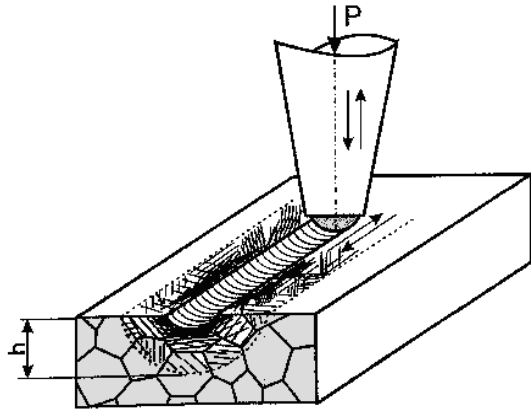


Рисунок 1 – Схема поверхностной ультразвуковой обработки с формированием единичной дорожки

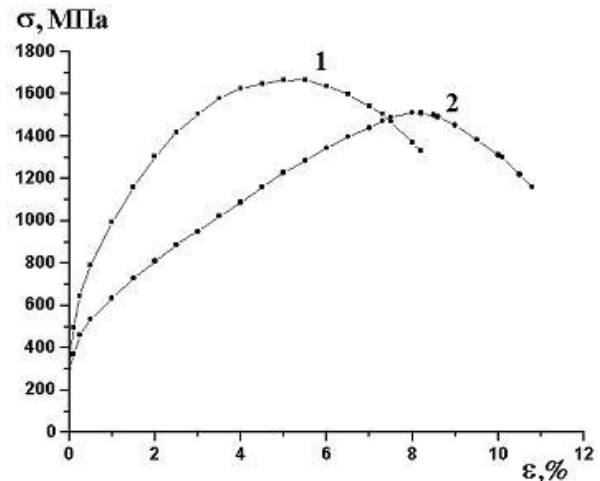


Рисунок 2 – Кривые растяжения образцов: 1.- исходное состояние после ТО; 2.- после ультразвукового поверхностного деформирования

Результаты исследований

В результате ультразвукового поверхностного деформирования образцов стали происходит существенное изменение структурно-фазового состояния. Выявлено, что на глубине до 10 мкм от поверхности формируется субзеренная структура в результате фрагментации и дробления кристаллов исходного мартенсита ($d = 7-10$ мкм) до размера структурных элементов $d = 50-75$ нм, характеризующейся более высокой концентрацией дефектов (поперечный размер реек при этом составляет $h_p = 5-7$ нм). Одновременно, вследствие роста плотности дислокаций в поверхностном слое, растет его микротвердость до $H_v = 5,1$ ГПа по сравнению с исходным материалом после термической обработки ($H_v = 4,1$ ГПа). По змерению микротвердости оценивали толщину сформировавшегося поверхностного слоя. она составляет $h = 10 \div 30$ мкм. Создание упрочненной поверхности с сохранением вязкой сердцевины деталей крайне важно для обеспечения достаточного сопротивления циклическим нагрузкам.

Результаты механических испытаний представлены в таблице 1. Установлено, что поверхностная ультразвуковая обработка приводит к увеличению на 4% пластичности и в 1,5 раза ударной вязкости, а предел прочности $\sigma_B = 1650$ МПа остается неизменным. На рис. 2 приведены кривые течения исследуемых образцов. Кривая растяжения поверхностно упрочненного образца лежит ниже, чем для образца в исходном состоянии. Это связано с тем, что в результате интенсивной пластической деформации происходит существенная модификация и ослабление поверхностного слоя изначально высокопрочной стали [4]. Это обстоятельство обеспечивает эффективную релаксацию опасных поверхностных концентраторов напряжений при реальных условиях эксплуатации таких деталей, а при растяжении данный эффект обуславливает повышение пластичности образца.

Как и ожидалось, испытания на ударную вязкость показали, что образцы с поверхностной ультразвуковой обработкой имеют большее значение $KCU = 760$ кДж/м², чем исходные после стандартной термической обработки ($KCU = 590$ кДж/м²). Ударная вязкость является интегральной характеристикой, содержащей работу зарождения трещины и работу распространения вязкой трещины. Чем

больше работа распространения вязкой трещины, тем меньше возможность внезапного хрупкого разрушения.

Таблица 1 – Механические свойства стали 30ХГСН2А

Вид обработки	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	ε , %	Hv, ГПа	KCU, кДж/м ²
Закалка + отпуск	360	1670	8	4,1	590
ТО + УФО по- верхности	300	1450	12	5,1	760

Фрактографический анализ поверхностей изломов показал, что в образцах после поверхностного ультразвукового деформирования формируется градиентная структура, состояние которой изменяется по мере удаления от поверхности. При этом реализуется внутризеренное ямочное разрушение с ямками различной величины. В области, близкой к поверхности, ямки более мелкие и однородные, что свидетельствует о создании тонкого высокопрочного слоя, который является защитным и препятствует развитию пластической деформации в основной объем металла. В последнем наблюдается вязкое разрушение с глубокими ямками. Выявлено, что зона вязкого разрушения занимает большую площадь, чем область долома. Это является свидетельством того, что образец после зарождения трещины может работать еще довольно длительное время.

Список литературы

1. Панин В. Е., Каблов Е.Н., Плешанов В.С. и др. влияние ультразвуковой ударной обработки на структуру и сопротивление усталости сварных соединений высокопрочной стали ВКС-12// Физ. мезомех. – 2006. - Т. 9. - № 2. - С. 85-96.
2. Беляков Л.Н., Петраков А.Ф., Покровская Н.Г., Шалькевич А.Б. Новые высокопрочные стали. // Металловедение и термическая обработка металлов - №8 – 1997. - с. 12-14.
3. Газетдинова А.О., Стрелкова И.Л. Влияние ультразвуковой упрочняющей обработки на механические свойства и структуру высокопрочной стали 30ХГСН2А. // Современные проблемы машиностроения: IV Международная научно-техническая конференция - Томск, ТПУ, 26-28 ноября 2008. - Томск: Изд. ТПУ, 2008. - с. 173-177.
4. Панин В.Е., Сергеев В.П., Панин А.В. Наноструктурирование поверхностных слоев конструкционных материалов и нанесение наноструктурных покрытий. – Томск: Изд-во Том. Политех. Ун-та, 2009. – 285 с.