

### Выводы

1. Полученная зависимость момента разрушения метчиков с внутренним размещением стружки от конструктивных параметров определяет области допустимых значений параметров и может быть использована при проектировании инструмента.
2. Прочность метчиков с внутренним размещением стружки примерно равна с прочностью стандартных метчиков в диапазоне диаметров от М12 до М16 и при размерах инструмента более М16 превышает прочность стандартных метчиков.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Древаль А. Е. Усилия резания при резбонарезании метчиком – Известия вузов. Машиностроение, 1970 - №9. – с.174 – 178.
2. Рождественский Л. А. Определение крутящего момента при нарезании резьбы метчиком. – В кн.: Резание металлов. М., Машгиз, 1951.
3. Магвеев В.В. Нарезание точных резьб. - М.: Машиностроение, 1968. – 114 с.

629.735.015.4: 539.219.2

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПОВЫШЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ СЛОЖНО НАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ(ППД)

### СООБЩЕНИЕ 2. МЕХАНИЗМ РАСХОДОВАНИЯ НАКОПЛЕННОЙ МАТЕРИАЛОМ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ НА ПОДДЕРЖАНИЕ СЖАТИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

*Канд. техн. наук, ст. научн. сотр. Г.М. РЫБАКОВ*

*Описан механизм аккумуляции энергии объемом материала при дробеструйной обработке деталей. Энергия аккумулируется в упруго растянутом объеме материала и расходуется на поддержание сжатия поверхностного слоя при переменных или постоянных напряжениях. Доказано существование максимума накопленной энергии, при котором сопротивление усталости достигает максимальных значений.*

*Energy storing mechanism in the volume of material under shot peening process is described. The energy*

*being stored in the elastically tensile volume of material is expend for keeping compressed surface layer during constant and alternating tensions. Stored energy maximum with the fatigue strength is proved to occur.*

В [1] было показано, что в процессе дробеструйной обработки (ДО) материал детали запасает потенциальную энергию в упруго растянутом внутреннем объеме. Эта энергия расходуется на поддержание сжатия поверхностного слоя как при циклических эксплуатационных нагрузках, так и в состоянии покоя без внешних нагрузок. Уровень запасенной энергии зависит от степени наклепа или глубины распространения пластической деформации. Если деталь имеет переменное сечение, то, в принципе, для каждого сечения существует своя оптимальная глубина наклепа, при которой накопленная потенциальная энергия достигает максимального значения. Поверхностный пластически деформированный слой и внутренний объем материала детали находятся в состоянии равновесия, при котором поверхностный слой, получивший положительную остаточную деформацию, упруго сжат, а внутренний объем упруго растянут.

Принято считать, что напряженное состояние детали после ППД определяют сжимающие напряжения в тонком поверхностном слое, а растягивающие напряжения во внутреннем объеме материала не существенны, поскольку имеют небольшую величину [2, 3,].

Какой-либо зависимости сопротивления усталости от величины сжимающих напряжений в поверхностном слое не установлено, и исследователи ограничиваются только констатацией факта: «сжимающие напряжения положительно влияют на сопротивление усталости». Поэтому, исходя из существующих представлений, невозможно установить однозначную зависимость сопротивления усталости от величины сжимающих напряжений, возникающих в поверхностном слое деталей после ДО.

В результате циклических растягивающих напряжений, упруго сжатый поверхностный слой разгружается от сжатия, что, очевидно, не приводит к необратимым изменениям, а циклическая долговечность резко возрастает.

Однако в случае приложения циклических сжимающих напряжений ситуация становится не столь очевидной, поскольку поверхностный слой может получить пластическую деформацию, превышающую предел текучести в условиях сжатия, после чего произойдет упругая разгрузка и падение напряжений на поверхности материала. Рассмотрим механизм поддержания сжатия поверхностного слоя за счет запасенной материалом энергии при циклических сжимающих напряжениях.

Этот механизм заключается в следующем.

После достижения деформации, превышающей предел текучести на поверхности в условиях сжатия, следует упругая разгрузка и снижение сжимающих напряжений на поверхности материала. Упругая разгрузка приводит к тому, что поверхностный слой становится менее сжатым и нарушается равновесие между ним и внутренним упруго

растянутым объемом материала. Внутренний объем затрачивает часть накопленной энергии на восстановление равновесия, становясь менее растянутым, а поверхностный слой получает дополнительную энергию и отчасти восстанавливает состояние сжатия. Таким образом, за один цикл нагружения в условиях сжатия с последующей разгрузкой материал становится менее напряженным, поскольку часть потенциальной энергии расходуется на поддержание равновесия. Второй и последующие циклы нагружения приведут к постепенному уменьшению накопленной энергии, а при достаточно большом числе циклов произойдет полная разгрузка материала от напряжений сжатия, вызванного ДО. С этого момента материал начинает накапливать повреждения по законам усталости металлов.

Из приведенного анализа можно заключить, что повышение сопротивления усталости материалов при поверхностном упрочнении определяется уровнем накопленной потенциальной энергии в упруго растянутом внутреннем объеме материала.

Исследования проводились на образцах, выполненных в виде прямоугольных пластин  $70 \times 20 \times 1,32$  мм из жаропрочного сплава с модулем упругости  $E = 195$  ГПа и пределом текучести  $700$  МПа. За исходное напряженное состояние был принят прогиб пластины равный  $1,2$  мм, (измерялся на базовом размере  $60$  мм).

В качестве примера проведем анализ расходования накопленной энергии в изогнутой после ДО пластине из жаропрочного материала. Распределение напряжений в пластине представлено на рис. 1.

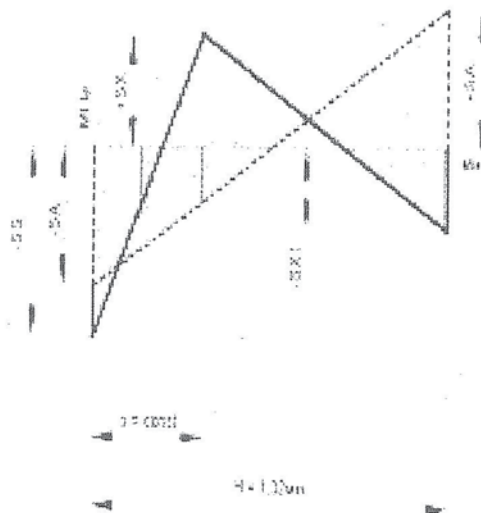


Рис. 1. Распределение напряжений по сечению изогнутой пластины размером  $70 \times 20 \times 1,32$  мм.

На рис. 1 использованы следующие обозначения: (-SS) – напряжения сжатия на обработанной ДО выпуклой поверхности пластины; (+SX) – максимальные растягивающие напряжения на границе пластически и упруго деформированных слоев; (-SX1) – напряжения сжатия на вогнутой стороне пластины; ( $x = \text{const}$ ) – глубина пластически деформированного слоя; ( $H = 1,32$  мм) – толщина пластины; (-SA), (+SA) – максимальные напряжения «выпрямляющего момента».

При приложении «выпрямляющего момента», поверхностный слой приобретает

дополнительное сжатие при котором деформация превышает предел текучести, как показано на рис. 2, где: (-SS) – напряжения сжатия на обработанной ДО выпуклой поверхности пластины; ST – предел текучести при сжатии;  $SN > ST$  (напряжение пластического течения SN, превышающего предел текучести ST); ( $x = \text{const}$ ) – глубина пластически деформированного слоя; (+SX) – напряжения упруго растянутого внутреннего объема материала выпрямленной пластины.

На следующем этапе снимается «выпрямляющий момент» и происходит перераспределение напряжений по сечению образца, нарушается равновесие между пластически и упруго деформированными слоями (рис. 3)..

На этапе разгрузки происходит восстановление равновесия между пластически и упруго деформированными слоями за счет некоторой разгрузки упруго деформированного слоя и соответствующей нагрузки пластически деформированного слоя (рис. 4).

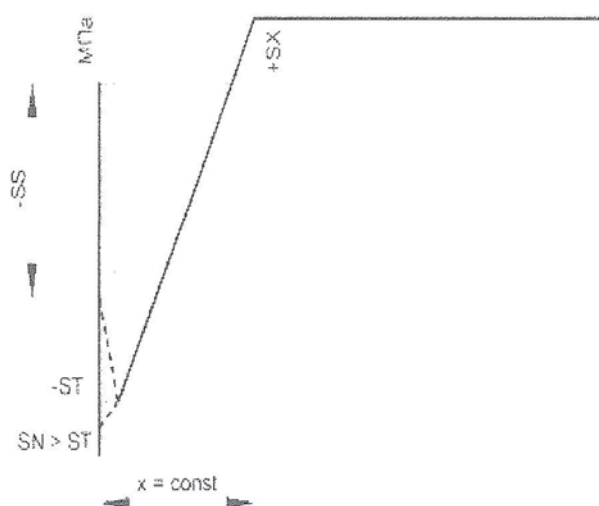


Рис. 2. Пример распределения напряжений по всему сечению образца размером 70x4x1,32мм после приложения «выпрямляющего момента»

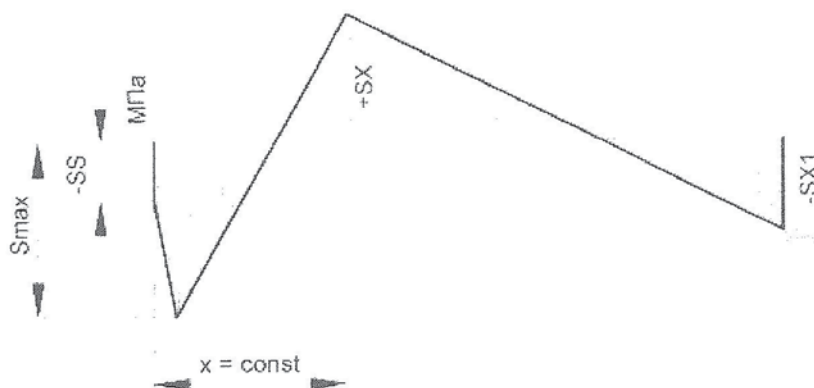


Рис. 3. Распределение напряжений по сечению образца в неуравновешенном состоянии после снятия «выпрямляющего момента».  $S_{\text{max}}$  – максимальные сжимающие напряжения под обработанной поверхностью образца

При этом часть энергии, накопленной внутренним объемом материала образца, расходуется на поддержание сжатия поверхностного слоя.

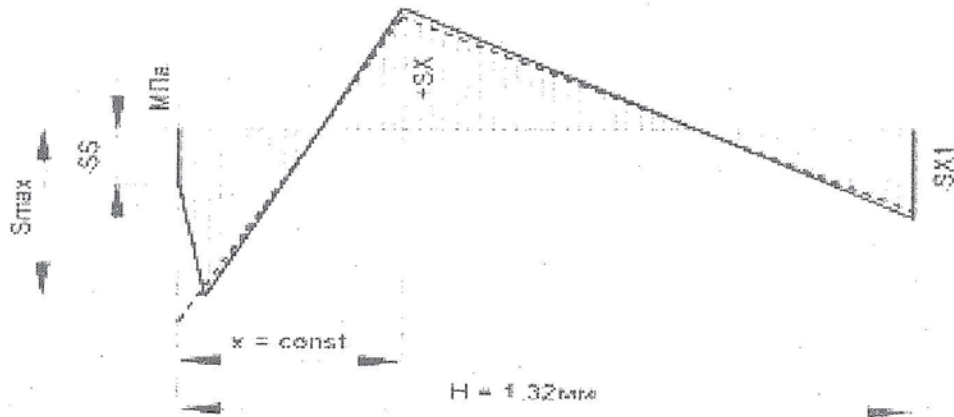


Рис. 4. Перераспределение напряжений при восстановлении равновесия в образце после снятия «выпрямляющего момента»

Перераспределение напряжений и уменьшение накопленной энергии в образце приводит к уменьшению прогиба образца. Изменение параметров напряженного состояния образца, включая накопленную упруго деформированным поверхностным слоем энергию и прогиб образца, приведены в таблице.

Таблица

Изменение напряженного состояния образца при приложении «выпрямляющего момента»

Состояние образца	Прогиб образца, мм	Накопленная энергия, $\text{МПа} \times 10^{-3}$	$S_{\max}$ , МПа	$S_X$ , МПа	$S_{X1}$ , МПа
После ДО	1,2	18,72	380	280	199
После приложения «выпрямляющего момента»	1,131	16,52	430	263	186

Данные таблицы получены при помощи универсальной программы [4], которая недостаточно совершенна для решения данной задачи. В настоящее время разрабатывается усовершенствованный вариант программы для решения данной конкретной задачи. Разрабатываемая программа позволит определять приращение параметров сопротивления усталости для жаропрочных, титановых и алюминиевых сплавов расчетным путем.

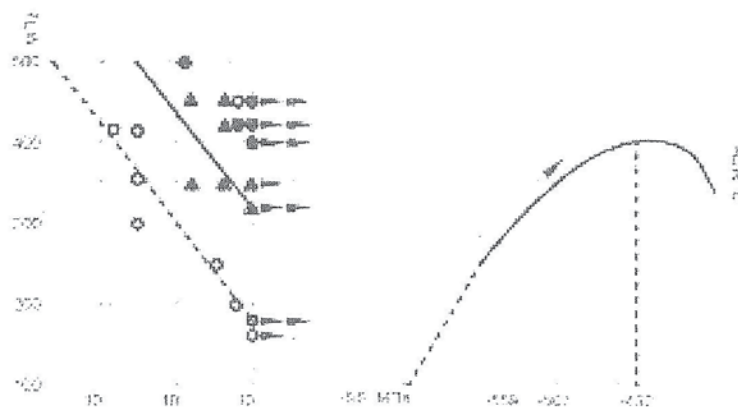


Рис. 5. Зависимость предела выносливости от уровня накопленной при ДО энергии

(○- образцы без ДО, образцы обработанные на режиме 1 ▲, образцы обработанные на режиме 2 ●, ○ – потенциальная энергия, накопленная упруго растянутым объемом материала и отнесенная к единичному объему).

Для подтверждения установленной зависимости проведены эксперименты на жаропрочных и титановых сплавах и нержавеющей стали. В качестве примера на рис. 5 приведены результаты исследования по повышению

сопротивления усталости сварных соединений из жаропрочного сплава с модулем упругости  $E = 195 \text{ ГПа}$  и пределом текучести  $700 \text{ МПа}$ . Образцы для усталостных испытаний изготовлены по отраслевой инструкции [6]. Усталостные испытания проведены при рабочей температуре  $700^\circ\text{C}$  на знакопеременный изгиб на базе  $10^7$  циклов до и после ДО. ДО проведена на различных режимах, для достижения различного уровня накопленной энергии. На рис. 5 показаны результаты сравнительных усталостных испытаний трех партий образцов: Как видно из рис. 5 предел выносливости возрастает пропорционально уровню накопленной энергии.

В настоящее время разрабатывается программа для ЭВМ для расчетного определения приращения сопротивления усталости в зависимости от уровня накопленной энергии.

## ВЫВОДЫ

При ППД приращение сопротивления усталости по параметру предела выносливости определяется уровнем накопленной потенциальной энергии во внутреннем упруго растянутом объеме материала.

Найден механизм расходования накопленной материалом потенциальной энергии на поддержание сжатия поверхностного слоя, как при эксплуатации, так и без нагрузок в состоянии покоя.

Разрабатывается программа для расчетного определения возможностей повышения сопротивления усталости при ДО сложно нагруженных деталей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбаков Г.М. Энергетические принципы повышения сопротивления усталости сложно нагруженных деталей методами поверхностного пластического деформирования. Сообщение 1. Аккумуляция энергии материалом при поверхностном пластическом деформировании // Известия вузов. Машиностроение. 2008. №1. с. ....
2. Овсенко А.П., Серебренников В.И., Гаек М.М. Технологическое обеспечение качества изделий машиностроения.  
- М.: МГТУ «Станкин», 2003. – с.61-64.
3. Макаров В.Ф., Половинкин А.Х. Исследование параметров качества поверхностного слоя, полученного методом ультразвукового поверхностного пластического деформирования //Технология машиностроения 2007. №6. С. 48-50.
4. Рыбаков Г.М. Программа, содержащая алгоритм управления качеством дробеструйной обработки металлических деталей, работающих в условиях сложного нагружения. / Программы для ЭВМ. Базы данных.  
Топологии интегральных микросхем. Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. 2005. №4. С.204
5. Методические материалы. Вибрационные испытания на усталость.- М.: Научно-исследовательский институт технологии и организации производства НИАТ, 1975. с. 21.

621.9.02

## АРГОНОДУГОВАЯ НАПЛАВКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ AL-SiC

инж. Н.В. КОБЕРНИК

*Исследован процесс аргонодуговой наплавки дисперсно-упрочненного композиционного материала на основе сплава Al12M2MgH, армированного 5 об.% частиц SiC. Рассмотрены две схемы аргонодуговой наплавки, различающиеся способами введения присадочного материала. Методами металлографического анализа и измерения твердости показано, что при введении присадочного материала по переднему фронту ванны в наплавленном слое сохраняется равномерное распределение армирующей фазы. Результаты трибологических испытаний на сухое трение показали, что коэффициент трения наплавленного композиционного материала ниже, а износостойкость выше, чем у исходных КМ.*

*The process of argon-arc welding fuse on a dispersion-hardened composition materials on the basis of Al-Si alloy reinforced with 5 vol.% of SiC particles has been investigated. Two techniques of the fusing process,*