

**ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПОВЕРХНОСТНОГО
ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ
И СПЛАВОВ**

И.В. ДВАДНЕНКО, В.И. ДВАДНЕНКО

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2*

Статья посвящена проблеме создания физической модели процесса поверхностного пластического деформирования инструментальных сталей и сплавов. На основе предложенной физикой модели описывается процесс упрочнения инструментальных сталей и сплавов поверхностным пластическим деформированием, обеспечивающий их максимальное упрочнение, и как следствие повышение работоспособность режущих инструментов, в случае преобладания усталостного характера износа.

Ключевые слова: физическая модель, процесса поверхностного пластического деформирования, упрочнение, дислокация.

Физическая модель процесса поверхностного пластического деформирования (ППД) инструментальных сталей и сплавов, может содержать такие характеристики, как предельная пластичность $\varepsilon_{\text{пред}}$ и твердость по Виккерсу HV. Смысл использования именно этих характеристик состоит в следующем. Из теории разрушения известно, что $\varepsilon_{\text{пред}}$ и HV связаны с линейными дефектами кристаллического строения металлов (дислокациями) следующими зависимостями:

$$\varepsilon_{\text{пред}} = \Sigma \rho_{\text{кр}} b l, \quad (1)$$

где $\Sigma \rho_{\text{кр}}$ - суммарная плотность дислокаций в состоянии предразрушения металла, м^{-2} ;

b - вектор Бюргерса, м;

l - длина свободного пробега дислокаций, м;

$$HV = \frac{262}{(\Sigma \rho b l)^{0.89}}, \text{ МПа}; \quad (2)$$

где $\Sigma \rho$ - суммарная плотность дислокаций, м^{-2} .

Именно дислокационная структура определяет появление локальных напряжений в металле и возможность их частичной релаксации. Потоки

дислокаций осуществляют по телу перенос латентной энергии, а их скопления приводят к возникновению процессов упрочнения или возврата.

Пластическая деформация сопровождается зарождением большого количества дислокаций и их движения по кристаллу, которое состоит в преодолении целого ряда потенциальных барьеров, расположенных как вдоль оси дислокации, так и последовательно по пути ее движения. Все барьеры можно разделить на крупномасштабные, среднемасштабные и мелкомасштабные. Крупномасштабные барьеры являются следствием далекодействующих полей внутренних напряжений. Среднемасштабные - взаимодействия параллельных дислокаций. Мелкомасштабные барьеры являются следствием взаимодействия дислокаций с точечными дефектами, пересечения дислокаций, в о.ц.к. металлах - еще и сжатия объемно-расщепленных винтовых дислокаций. Таким образом, повышение числа и высоты потенциальных барьеров и связанных с ними напряжений, необходимых для деформирования, называется упрочнением. Упрочнение, достигаемое пластической деформацией, называется деформационным. Понижение числа и высоты потенциальных барьеров, уменьшение деформирующего напряжения называется возвратом. Ниже, описана эволюция дислокационной структуры металла РИ, вызывающую максимальное упрочнение.

Из литературы известно что, при пластической деформации повышается число разномасштабных потенциальных барьеров, которые и задерживают около себя дислокации, создавая их скопления. При ППД этому также способствуют источники Франка - Рида, испуская новые дислокации, а также дислокационные реакции, имеющие место в результате столкновения дислокаций противоположных знаков и перераспределения их в устойчивые конфигурации.

Таким образом, создается слой с внутренними сжимающими напряжениями, что повышает прочностные и усталостные характеристики металлов. Этот слой создается также благодаря тому, что энергия

взаимодействия дислокаций при увеличении их плотности растет быстрее, чем их собственная энергия. Поэтому при некоторой критической плотности $\rho_{кр}$ силы взаимодействия между дислокациями становятся больше внешних сил и независимые перемещения отдельных дефектов становятся невозможными. Дальнейшее увеличение плотности дислокаций увеличивает и связанные с ними далекодействующие напряжения. Они могут релаксировать за счет перестроек дислокационной структуры, аннигиляции дефектов, рекристаллизации и т.д.. Но когда все эти процессы оказываются энергетически невыгодными, происходит пластический пробой. Это токовая неустойчивость, наступающая тогда, когда динамический возврат в полосе скольжения сильнее упрочнения в ней. Происходит зарождение микротрещин, что значительно снижает далекодействующие напряжения. Начинают преобладать процессы возврата. Далее образуются макротрещины, магистральные трещины и происходит разрушение.

Процесс зарождения микротрещин, с точки зрения технологии ППД, называется перенаклепом. Поэтому необходимо определиться с плотностью дислокаций $\Sigma\rho_{кр}$, обеспечивающей максимальное упрочнение металлов. В литературе приводятся следующие данные: $\Sigma\rho_{кр} = 10^{12} \div 10^{16} \text{ 1/м}^2$.

Из теории разрушения известно, что для начала образования микротрещины в металле с поверхностной энергией кристалла γ у конца полосы скольжения длиной L приложенное напряжение описывается уравнением

$$\sigma \geq \sqrt{\frac{12G\gamma}{\pi L}}, \text{ Па;} \quad (3)$$

где G – модуль сдвига, Па.

Также известно, что металл начинает разрушаться, когда приложенное напряжение достигает предела прочности σ_b . В свою очередь предел прочности при хаотическом распределении и движении дислокаций связан с их суммарной плотностью следующим соотношением

$$\sigma_{\varepsilon} = Gb\sqrt{\Sigma\rho}, \text{ Па.} \quad (4)$$

Решая совместно уравнения (3) и (4) относительно $\Sigma\rho$, получим условие начала образования микротрещины

$$\Sigma\rho \geq \frac{12\gamma}{\pi LGb^2}, \text{ м}^{-2}. \quad (5)$$

Из теории разрушения известно соотношение для поверхностной энергии

$$\gamma = \frac{Ga}{8}, \text{ Дж/м}^2; \quad (6)$$

где a - постоянная решетки металла, м.

Тогда уравнение (6) примет вид

$$\Sigma\rho \geq \frac{3a}{2\pi Lb^2}, \text{ м}^{-2}. \quad (7)$$

Однако наиболее интересным представляется не процесс образования микротрещин, а максимальное упрочнение металлов. Из теории разрушения следует, что между двумя этими процессами очень тонкая граница. Поэтому искомая величина суммарной критической плотности дислокаций описывается следующим уравнением

$$\Sigma\rho_{кр} = \frac{3a}{2\pi Lb^2}, \text{ м}^{-2}. \quad (8)$$

Подставив полученное значение $\Sigma\rho_{кр}$ в уравнения (1) и (2), получим характеристики инструментальных сталей и сплавов, описанные с позиции дислокационных представлений.

$$\varepsilon_{пред} = \frac{3al}{2\pi Lb}. \quad (9)$$

$$HV = \frac{262}{\left(\frac{3al}{2\pi Lb}\right)^{0.89}}, \text{ МПа.} \quad (10)$$

Полученные зависимости обеспечивают максимальное упрочнение инструментальных сталей и сплавов, и как следствие повышение работоспособность режущих инструментов, в случае преобладания усталостного характера износа.

PHYSICAL MODEL OF SURFACE PLASTIC DEFORMATION TOOL STEELS AND ALLOYS

I.V. DVADNENKO, V.I. DVADNENKO

*Kuban State Technological University
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072*

The article deals with a physical model of the process of surface plastic deformation tool steels and alloys. Based on the proposed model describes the physics of the process of hardening tool steels and alloys surface plastic deformation , ensuring their maximum hardening, and as a result increase performance cutting tools, in the case of the prevalence of fatigue wear pattern .

Key words: physical model, the process of surface plastic deformation, hardening, dislocation