

УДК 539.411.001.24

Е. А. НАУМОВА, инженер, КрНУ им. М. Остроградского;
Д. В. МОСЬПАН, канд. техн. наук, доц. КрНУ им. М. Остроградского;
А. В. ВОРОНИН, инженер, КрНУ им. М. Остроградского;
В. В. ДРАГОБЕЦКИЙ, д-р техн. наук, профессор, КрНУ
им. М. Остроградского, Кременчуг

КОРРЕКТИРОВКА РЕЖИМОВ УПРОЧНЕНИЯ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Рассмотрены особенности эксплуатации машин и агрегатов в условиях современного производства. Новым направлением при разработке изделий с высокими эксплуатационными характеристиками является получение наноструктурных композиционных материалов и материалов с преобразованной упорядоченной структурой. Деформационная неустойчивость возникает при деформациях равных предельным равномерным. Предложены методы теоретического определения предельных равномерных деформаций, что позволяет оптимизировать процессы упрочнения пластическим деформированием, калибровки и формоизменения деталей с элементами жесткости.

Ключевые слова: упрочнение, пластическая деформация, устойчивость, структура.

Введение. Развитие ведущих отраслей техники неизменно связано с достижениями в области технологий производства и обработки материалов.

Современные отрасли промышленности характеризуется непрерывным ростом энергонапряженности экстремальными и чрезвычайно интенсивными параметрами нагружения при эксплуатации. Поэтому обеспечить эксплуатационную надежность и долговечность машин, агрегатов и деталей возможно только приданием специальных свойств применяемым материалам. Обеспечение производства материалов с высокими физико-механическими характеристиками диктует необходимость применения новых методов обработки, обеспечивающих высокое качество и производительность изготовления изделий.

Упрочнение методами пластического деформирования широко используется для повышения усталостной прочности, твердости и износостойкости поверхностного слоя металла, а также для формирования в этом слое направленных внутренних напряжений и изменения структурных несовершенств, дробления блоков и создания микронапряжений. Поверхностная пластическая деформаций приводит к образованию сдвигов и упругому искажению кристаллической решетки, изменению формы и размеров решетки. Наибольшее влияние на эксплуатационные характеристики обрабатываемых изделий оказывают режимы упрочнения, физико-механические свойства, структура и химический состав материала.

Оптимальным режимом поверхностного пластического деформирования, проводимого с целью упрочнения, усталостной прочности, износостойкости, является такой, который обеспечивает оптимальное приращение предела прочности $\Delta\sigma_v$ при определенных показателях пластичности, максимального приращения предела выносливости $\Delta\sigma_1$ [1], максимального снижения интенсивности изнашивания ΔI . Решение проблемы повышения эксплуатационных характеристик надежности и долговечности деталей машин и агрегатов чрезвычайно актуально и сулит значительным снижением затрат на эксплуатацию, ремонт и восстановление оборудования.

Вопросы определения силовых параметров упрочнения методами пластического деформирования нашел принципиальное решение в ряде работ [1–4]. Что касается формирования оптимального физического состояния поверхностного слоя – таких рекомендаций практически нет. В настоящее время установлено, что деформационное упрочнение оптимально при интенсивности деформаций равной предельной равномерной [1]. Однако вопрос их достаточно точного для практики определения не решен в полной мере. Поэтому целью исследований являются разработки теоретико-экспериментального метода определения предельных равномерных деформаций.

Определение оптимальных режимов упрочнения методами пластического деформирования позволяет улучшить технико-экономические показатели процессов пластического деформирования и определить направление поиска новых технологий.

Среди многообразных по физико-химической природе воздействия на материал предпочтение следует отдавать тем, которые совершенствуются в соответствии с объективными законами развития технических систем. Согласно этим законам, развитие технических систем и технологий идет в направлении перехода от механических воздействий к электромагнитным, тепловым, волновым и др., увеличения степени дисперсности вещества, числа связей между элементами и отзывчивости системы; использования в качестве рабочего органа и инструмента молекул, атомов, ионов, электронов. Пути совершенствования и повышения эффективности процессов волнового, теплового, электромагнитного воздействия на обрабатываемый материал или заготовку после систематизации может быть достигнуто различными способами:

– переходов от простых (элементарных) физических воздействий к сложным – цепным и двойным;

- построением двойного физического воздействия путем введения дополнительного физического, в том числе волнового воздействия, которое хорошо поддается управлению;
- заменой неуправляемого (плохо управляемого) физического воздействия управляемым, например заменой механического воздействия электрическим или электромагнитным;
- путем увеличения степени дисперсности или волновых свойств вещества, играющего роль инструмента передающего элемента или среды;
- переходом от сплошных веществ к пористым, капиллярно-пористым, двух и многокомпонентным;
- повышением степени динамичности системы, т.е. переходом к более гибкой, быстро меняющейся структуре системы;
- переходом от однородных волновых воздействий или имеющих неупорядоченный характер нагружения или структуру к волновым воздействиям неупорядоченным или имеющим определенную пространственно-временную структуру;
- согласованием или рассогласованием волнового воздействия с собственной частотой заготовки или инструмента;
- периодическим воздействием одного импульсно-волнового воздействия в паузах другого;
- взаимодействием внешнего электромагнитного поля с контактно подведенными или неконтактно индуцированными токами;
- использование электрореологических суспензий с управляемой вязкостью.

Принципиально новыми направлениями в разработке изделий с высокими эксплуатационными характеристиками является получение наноструктурных конструкционных материалов и материалов с преобразованной к упорядоченной структурой и если получение наноструктурных конструкционных материалов чрезвычайно трудоемко и энергозатратно, то получение материалов с преобразованной к упорядоченной структурой возможной в рамках технологических параметров традиционных процессов обработки. Такие структуры возникают тогда, когда имеет место достаточно интенсивный поток энергии или вещества в условиях тепловой, силовой, энергетической или деформационной неустойчивостью. В процессах обработки заготовок методами пластического деформирования при формоизменении и упрочнении напряжение течения зависит от температуры степени деформации, скорости деформации, продолжительности деформации, состава и структуры материала. В рамках гипотезы о единой кривой, эту зависимость для

конкретного материала с изменяемой в процессе деформации структурой можно выражать в дифференциальной форме

$$d\omega_i = \frac{\partial \sigma_i}{\partial T} dT + \frac{\partial \sigma_i}{\partial \varepsilon_i} d\varepsilon + \frac{\partial \sigma_i}{\partial \dot{\varepsilon}_i} d\dot{\varepsilon} + \frac{\partial \sigma_i}{\partial t} dt + \frac{\partial q_k}{\partial \varepsilon_i} d\varepsilon + \frac{\partial q_k}{\partial \varepsilon_i} d\varepsilon + \frac{\partial q_k}{\partial t} dt \quad (1)$$

где σ_i – интенсивность напряжений;

$\varepsilon_i, \dot{\varepsilon}_i$ – интенсивность деформаций и скоростей деформаций;

T – температура;

t – время;

q_k – параметры, характеризующие внутреннюю структуру материала, нижний индекс – номер параметра.

Учитывая, что наиболее оптимальная структура материала по эксплуатационным характеристикам образуется при деформациях равным предельным равномерным, то условие, позволяющее определить эти деформации, имеет вид:

$$\frac{1}{\sigma_i} \left(\frac{\partial \sigma_i}{\partial \varepsilon_i} d\varepsilon_i + \frac{\partial \sigma_i}{\partial \dot{\varepsilon}_i} d\dot{\varepsilon}_i \right) = \frac{1}{\delta} \left| \frac{\partial \delta}{\partial \varepsilon} \right| d\varepsilon + \frac{1}{\sigma} \left| \frac{\partial \sigma}{\partial t} \right| dt, \quad (2)$$

где δ – геометрический параметр заготовки (площадь, толщина, смещенный объем).

Для частных случаев формоизменения калибровки и упрочнения вязкопластического материала с коэффициентами деформационного упрочнения n и скоростного упрочнения m, t с учетом того, что структурные составляющие получают экстремальные значения, уравнение упрощается:

а) при постоянной скорости деформации $\dot{\varepsilon}_n = const$

$$\varepsilon_{кр} = \varepsilon_p = n;$$

б) при постоянной скорости растяжения или сжатия (процессах упрочнения пластическим деформированием, калибровки) при кратковременности процесса нагружения и др.)

$$\varepsilon_{кр} = \varepsilon_p = \frac{n}{1-m};$$

В других случаях к соотношению необходимо добавить уравнения равновесия и пластичности.

Приближенные, но достаточно точные значения ε_p можно находить по зависимости [1]

$$\varepsilon_{кр} = \varepsilon_p = \frac{245}{\text{НД}}, \quad (3)$$

где H – пластическая твердость 6 МПа (ГОСТ 18835-73).

Для процессов импульсной обработки знаменатель выражения (3) следует умножить на коэффициент динамичности.

Определение деформаций, соответствующих предельным равномерным, возможно с использованием соотношения для скорости пластических деформаций в форме Гилмана-Джонстона [3]

$$\varepsilon_i = \frac{4}{3} b C_0 \left(n_0 + \frac{3}{4} m \varepsilon_i \right) \exp \left[-2 \left(D + \frac{3}{4} H \frac{\varepsilon_i}{\sigma_i} \right) \right] \quad (4)$$

где n_0 – начальная плотность;

b – вектор Бюргерса;

m – коэффициент размножения дислокаций;

H – постоянная упрочнения;

C_0 – скорость звука в поперечном направлении;

D – эмпирическая постоянная.

Соотношение (4) имеет экстремум (при фиксированных значениях σ_i). При достижении экстремума или критического значения пластических деформаций, при росте общей плотности дислокаций «запируются» подвижные дислокации и достигается предельно возможное упрочнение и упорядоченная структура.

Значение критических деформаций определяется при $\frac{d\varepsilon}{d\sigma} = 0$. Критическое значение деформаций соответствует второму условию локализации деформаций (потери устойчивости).

$$\varepsilon_i = \frac{4}{3m} \left(\frac{\sigma_i}{H} - n_0 \right) \quad (5)$$

Выводы. Составление расчетных значений предельных равномерных деформаций по зависимостям (2, 3, 5) показал их незначительное их отличие в пределах 10÷15 %. Следовательно, вполне допустимо в практике использовать зависимость (3). Для оценки характера структурных изменений необходимо пользоваться соотношением (4).

Использование этих зависимостей позволяет оптимизировать процессы деформационного упрочнения и упруго-вязко-пластического формоизменения и калибровки.

Список литературы: 1. Дрозд М. С. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации / М. С. Дрозд, М. М. Матлин, Ю. И. Сидякин. – М.: Машиностроение, 1986. – 220 с. 2. Евдокимов В. Д. Технология упрочнения машиностроительных материалов / В. Д. Евдокимов, Л. П. Клименко, А. Н. Евдокимова // Учебное пособие-справочник.– 2-е изд-е. – К. : ИД «Профессионал», 2006. – 352 с. 3. Майборода В. П. Скоростное деформирование конструкционных материалов / В. П. Майборода, А. С. Кравчук, Н. Н. Холин. – М.: Машиностроение, 1986. – 264 с.

4. Добровольский А. Г. Абразивная износостойкость материалов / А. Г. Добровольский, П. И. Кошеленко // Справочное пособие. – К.: «Тэхника», 1989. – 124 с.

Bibliography (transliterated): 1. Drozd M. P. Inzhenernye raschety uprugoplasticheskoy kontaktnoy deformacii M. P. Drozd, M. Matlin, Yu. I. Sidiyakin. – Moscow: Mashinostroenie, 1986. – 220 P. 2. Evdokimov V. D. Tehnologiya uprochneniya mashinostroitel'nyh materialov V. D. Evdokimov, L. P. Klimenko, A. N. Evdokimova Uchebnoe posobie-spravochnik. – 2-e izd-e. – Kiev. : ID «Professional, 2006. – 352 P. 3. Majboroda V. P. Skorostnoe deformirovanie konstrukcionnyh materialov V. P. Majboroda, A. P. Kravchuk, N. N. Holin. – Moscow: Mashinostroenie, 1986. – 264 P. 4. Dobrovol'skij A. G. Abrazivnaya iznosostojkost' materialov A. G. Dobrovol'skij, P. I. Koshelenko Spravochnoe posobie. – Kiev.: «Tehnika», 1989. – 124 P.

Поступила (received) 31.10.2014

УДК 621.73

Р. С. НИКОЛЕНКО, аспирант, ГВУЗ «ПГТУ», Мариуполь

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫПУКЛЫХ ОСАДОЧНЫХ ВСТАВОК НА ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ РЕЖИМЫ ПРИ ЭКСЦЕНТРИЧНОЙ ОСАДКЕ ЗАГОТОВОК РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТЫ

Выполнено моделирование методом конечных элементов (МКЭ) процесса эксцентричной осадки выпуклыми вставками при фиксированном значении эксцентриситета вертикальных осей заготовки и инструмента. Исследование проводили с использованием пакета для конечно-элементного анализа Deform 3D. Получены графические зависимости силы осадки заготовки от степени обжатия, геометрических характеристик деформирующего инструмента и деформируемой заготовки при различных величинах эксцентриситета.

Ключевые слова: заготовка, профилирование, выпуклые вставки, эксцентриситет, усилие.

Введение. Внедрение предварительных профилирующих операций для достижения приближения формы заготовки к конфигурации поковки при штамповке [1] получило широкое распространение в современной кузнечно-штамповочной отрасли и весьма перспективно с точки зрения дальнейшего развития технологий. Подготовка формы заготовки позволяет перераспределить силовые режимы по переходам, улучшить заполнение ручьев, снизить давление на контакте инструмента и заготовки, обеспечив равномерное напряженно-деформированное состояние инструмента. Введение предварительного профилирования позволяет в 1,4...2,0 раза повысить стойкость окончательных ручьев штампов [2].

Анализ последних исследований и публикаций. Осадка выпуклыми продолговатыми вставками достаточно изучена как с точки зрения развития формоизменения [3], так и с точки зрения изменений напряженно-деформированного состояния [4]. Исследование процесса предварительного профилирования заготовок эксцентричной осадкой выпуклыми вставками перед последующей штамповкой проведены авторами в работах [5–7], где исследовано влияние формы деформирующего инструмента на напряженно-деформированное состояние (НДС) и приведены значения макропоказателей