

Результативность работы во многом обеспечена тем, что совершенствование разрабатываемой кинетической теории велось на основе связи с классическими методами механики деформируемого твердого тела. Очевидно, что такая связь позволяет не только совершенствовать кинетическую теорию, но и направлять ее в правильное, апробированное русло. Кроме этого, такая связь выводит на новые задачи, которой в нашем случае является задача о природе нового коэффициента  $\mu$  и выражении его через параметры, отражающие силы межатомного взаимодействия.

Разрабатываемая теория, позволяющая с хорошим приближением описывать экспериментальные данные, направлена на применение при проектировании реальных конструкций, особенно машиностроительных, где кручение, как вид напряженного состояния деталей, имеет широкое распространение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Стеликов. Н.Е. Кинетика деформирования и разрушения твердых тел при ползучести. / Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2004. №3. С. 60 – 63.
2. Кеннеди А.Д. Ползучесть и усталость в металлах. – М.: Metallurgizdat, 1965. – 312 с.
3. Стеликов Н.Е. Кинетическая теория ползучести: монография. – Горки: Ред.-изд. отдел БГСХА, 2006. – 104 с.
4. Зайт В. Диффузия в металлах. Процессы обмена мест: пер. с нем. Г.С. Куликова и Р.Ш. Малковича; под ред. Б.И. Балтакса. – М.: Изд. иностр. лит, 1958. 382 с.
5. Дорн Д.Э. Спектр энергий активации ползучести / Ползучесть и возврат. – М.: Metallurgizdat, 1961. – С. 291 – 325.
6. Frenkel R.E., Sherby O.D., Dorn I.E. Trans. ASM. 1955. Vol. 47. P. 632.
7. Fazan B., Sherby O.D., Dorn I.E. Trans. Amer. Inst. Of Mining and Metallurgical Engineers. 1954. Vol. 200. P. 919.
8. Макклинток Ф., Арагон А. Деформация и разрушение материалов. – М.: Мир, 1970. – 444 с.
9. Мадорский С. Термическое разложение органических полимеров. – М.: Мир, 1967. – 326 с.
10. Соппротивление материалов / А.Ф. Смирнов, А.В. Александров, Н.И. Монахов и др.; под. ред. А.Ф. Смирнова: изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1975. 480 с.

УДК 621.791.042

*Макушок Е.М., Петюшик Е.Е., Реут О.П.*

### **О ВОЗНИКНОВЕНИИ ДЕФОРМАЦИОННОЙ АНОМАЛИИ ПРИ РАДИАЛЬНОМ ОБЖАТИИ НАМОТАННЫХ ПРОВОЛОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Первые эксперименты по обжатию проволочных намотанных конструкций методом изостатического (радиального) прессования через упругую оболочку (полиуретан) продемонстрировали вполне определенную тенденцию возникновения деформационных особенностей, с которыми практическое применение металлообработки еще не встречалось [1]. Существуют особенности в том, что в локальных областях по контуру поверхности фактического контакта образуются не только местные выплески выдавливания (какие возникают при измерении твердости), но и выбросы деформируемого материала проволок в форме, напоминающей пенек, а также (гораздо чаще) отдельные усообразные цилиндрические образования, длина которых многократно превосходит их сечение.

На рис.1 показаны снимки, демонстрирующие специфику локального поверхностного формообразования на разных стадиях развития процесса. На рис.1,а представлен одиночный выступ, на рис.1,б – развитый выплеск в виде слегка конического стержня с каплевидными пережимами винтового характера. Последнее обстоятельство свидетельствует о том, что ука-

занная особенность формообразования имеет место в очаге деформации локального истечения при температуре оплавления и сопровождается вращением стержня как жесткого, уже вышедшего из пласта деформирования. След вращательного движения прослеживается по винтообразности локального сужения на поверхности выплеска. Причиной столь неординарного характера деформационного движения на завершающей стадии является перекокс осей исходных проволок, приводящий, в конце концов, к образованию струи и ее вихревой составляющей в очаге истечения, возникающих в случае этого эксперимента вследствие несимметричности контактного напряженного состояния.

Характер деформационного движения столь сложен и неоднороден, что его теоретическое описание с анализом напряженного состояния не может быть представлено на основе современной теории пластичности. Возможности этой теории, ограниченной допущениями, искажающими физический смысл вследствие расхождения физической модели, ее упрощенного образа и математического описания, крайне ограничены.

В настоящее время в науке вообще, и в том числе в механике деформационного движения, наступил период смены парадигмы. Основу новой парадигмы (наряду с известными, применяемыми) составляют явления самоорганизации деформационного движения, которые преобразуют суть теории и позволяют устанавливать соотношения параметров по ходу развития процесса с учетом изменения условий его протекания, а не только в одной точке заданного формоизменения. Основы этого подхода для формирования нового уровня теории деформационного движения сформулированы в нашей республике. Продвижение к цели, т.е. к возможности построения деформационной теории с учетом явлений самоорганизации, может быть воспринято при ознакомлении с монографиями: "Самоорганизация деформационных процессов", "Инженерная теория пластичности", "Теоретические основы процессов поверхностного пластического деформирования" [2, 3, 4]. Новая парадигма пока еще не полностью раскрыла свои информационные возможности, позволяющие добраться до нюансов напряженно-деформированного состояния на микро-, макро-, мезо-, нано- и др. уровнях и закономерностей их коллективного проявления при совместном участии в деформационном движении.

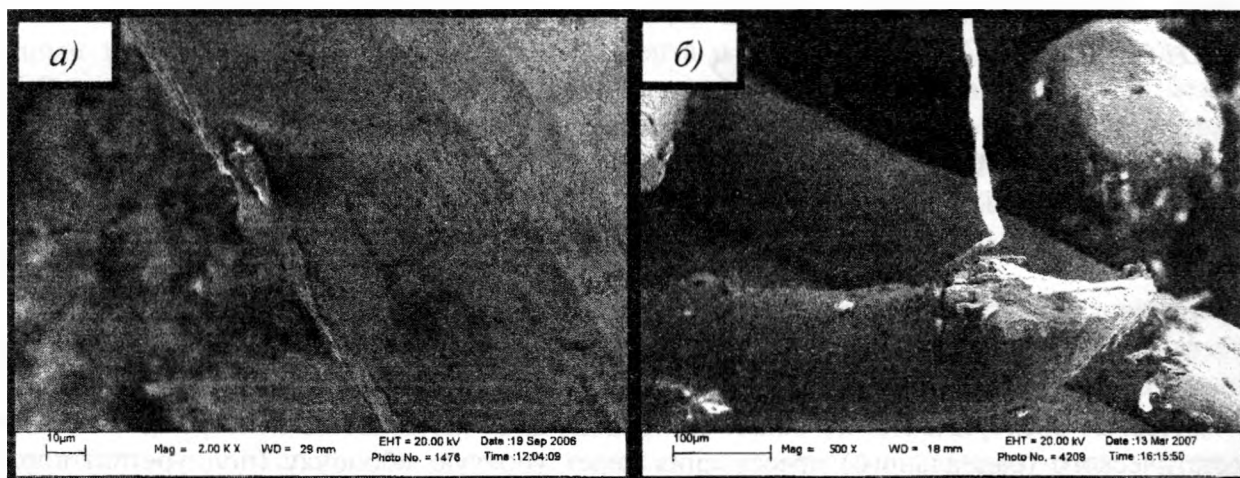


Рис. 1 Вид локальных деформационных новообразований

Особенно серьезный сдвиг в расширении возможностей парадигмы самоорганизации представляется открытием структуры напряженно-деформированного состояния и ее роли в описании деформационного движения. Термин "структура напряженно-деформированного состояния" непосредственно не связан со структурой строения вещества, это совершенно другая категория, на фоне которой проявляется влияние и структурных факторов строения. В общем случае мы сталкиваемся с их совместным проявлением. Структура напряженно-деформированного состояния как понятие и явление применительно к анализу напряженно-деформированного состояния выполняет важную познавательную функцию. Пренебрежение этим явлением привело к деграда-

ции теории, так как при анализе переходов от нагрузки к деформационной реакции тела из поля зрения выпадает специфика перехода от ламинарного течения к турбулентному. Теория пластичности в своем развитии остановилась на ламинарном характере течения. Физическая основа такого старта вполне понятна, она представляется кристаллографическими плоскостями зерна (монокристалла) с теоретическим уровнем сопротивления сдвигу, которое дислокационным механизмом снижается на 3-4 порядка, а допущением непрерывности приводится в состояние изотропии, которая снимает роль поворота направлений максимальных сдвигающих напряжений относительно кристаллографических плоскостей.

Явления самоорганизации позволяют представить механизмы турбулентного движения и фрагменты расчетных ситуаций, сформировать расчетные схемы, учитывающие переход от ламинарного развития деформации к турбулентному [5].

Важность познавательной функции перехода от ламинарного характера течения твердого тела к турбулентному состоит в том, что геометрия в малом увязывается с геометрией в целом. Применительно к задачам деформационного движения это означает, что поле напряженно-деформированного состояния элементарного объема увязывается с полем всего деформируемого тела в целом. Более того, эта связь устанавливается не отвлеченными зависимостями, построенными на чисто математических, допускаемых, закономерностях, что пока принято, а физическими закономерностями, возникающими при анализе полей напряженно-деформированного состояния вследствие их самоорганизации и взаимовлияния. Вообще проблема перехода от геометрии в малом к геометрии в целом является одной из наиболее сложных в современной науке.

Ряд принципиальных сложностей самоорганизацией снимается или минимизируется. В частности, стыковка упругого и пластического состояний регламентируется условием пластичности. Однако в научно-технической литературе функционируют две формулировки условия идеальной пластичности. Эти условия представляют собой две математические модели одного и того же физического явления, построенные с учетом допущений, идущих от пластического течения и от законов упругой деформации соответственно. Применительно к реальным телам описание точечного (по кривой упрочнения) перехода от упругого состояния к пластическому или этого же перехода в условиях развитого пластического течения вызывает затруднения в процессе осмысления теоретических основ. С учетом эффектов самоорганизации неточности, которые вызываются двойственностью условия пластичности, уже не представляются непреодолимыми [6]. Та же неопределенность, возникающая при анализе контактного трения, также решается с позиций самоорганизации [7]. И условие пластичности, и контактное трение представляются подсистемами в расчетной системе, учитывающей явления самоорганизации деформационного движения.

Несмотря на кажущееся нагромождение сложностей, возникающих только от перечня параметров, которые нужно учесть, одной из наиболее удачных "конструктивных" особенностей парадигмы самоорганизации является возможность изложения теоретического материала с использованием минимума математических средств.

Переходя от общих соображений в оценке уровня развития современной теории к конкретному процессу, в котором проявилась аномалия концентрации деформаций, отметим большое значение этой технологической работы в качестве модельного случая, демонстрирующего высокий уровень проявления эффектов самоорганизации в условиях формирования турбулентной структуры деформационного движения и побуждающего к развитию теоретических представлений. Любые, в том числе аналитические, результаты этой работы в определенных областях могут оказаться в числе основополагающих.

На основании отдельных, уже полученных, экспериментальных результатов можно сделать предварительные выводы, очерчивающие рамки для оценки отмеченной аномалии развития деформационного процесса. Прежде всего, как и в других подобных случаях, следует обратить особое внимание на экстремальные ситуации, в которых нарушается симметрия напряженно-деформированного состояния (НДС). В данном случае первый момент этой особенности деформационного движения выступает в образе потери симметрии НДС в стыковке фаз нагрузки и

разгрузки. Из этого делаем вывод, что в этой ситуации радикальное изменение НДС происходит на стадии разгрузки. Эффект асимметрии НДС упомянутого перехода усиливается спецификой комбинированного процесса радиального сжатия, которое воздействует с торцевых поверхностей жгута проволок и сопровождается его сжатием в диаметральной направленности, локальным сжатием и изгибом, скручиванием вдоль длины изделия. Эта ситуация также является причиной асимметрии НДС, выражающейся главным образом в том, что при разгрузке сечение, несущее упругую деформацию, в силу чрезвычайной локализации сечения, подверженного пластическому воздействию, аккумулирует упругую энергию слабее, чем в случае нагрузки-разгрузки при симметричных условиях. Последнее обстоятельство сопровождается формированием области критического состояния, образуемого подконтактным пространством двух взаимодействующих контактов. Критическое пространство, находящееся в условиях всестороннего пластического сжатия, при разгрузке в числе прочего реверсирует сдвигающее напряжение на своей границе, что создает прогиб эпюры нормальных напряжений на своей границе и снижение их крайних значений, что обеспечивает снижение сопротивления выдавливанию из-под контакта при снижении его несущей способности. Дальнейшее изучение процесса позволит уточнить само явление и развить теорию деформационного движения, способную учесть проявление всех влияющих параметров.

Поскольку скорости и степени деформации при выбросе струй, несущих следы оплавления, столь высоки, анализ влияния теплового эффекта и теплопередачи, по-видимому, потребует введения конечной скорости распространения тепла и учета влияния нагрева на трансформацию поля напряженного состояния не только вследствие изменения предела текучести, но и вследствие теплового расширения и последующей усадки.

В качестве подтверждения вероятности существования механизма выброса обособившегося объема за границы свободной поверхности сошлемся на детскую игру, в которой сжимаемая вишневая косточка выстреливается при сжатии ее пальцами. Подобное явление использовано [8] с целью снижения усилия деформации при холодном выдавливании сталей за счет придания торцевым поверхностям инструмента очертаний соответствующих геометрии поверхностей скольжения.

Такова природа туннельного эффекта, на макро- микроуровне проявляющегося в процессе радиального обжатия проволочной структуры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Петюшик Е.Е. Особенности деформирования проволоки при радиальном обжатии тел намотки // Проблемы инженерно-педагогического образования в Республике Беларусь: Материалы междунар. научно-практ. конф. / Под общ. ред. Б.М. Хрусталева. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – С. 281-286.
2. Макушок Е.М. Самоорганизация деформационных процессов. – Мн.: Наука и техника, 1991. – 264 с.
3. Инженерная теория пластичности / Е.М.Макушок, А.В.Белый, Д.И.Дмитрович, Т.В.Калиновская и др. – Мн.: Наука и техника. – 1985. – 286 с.
4. Теоретические основы процессов поверхностного пластического деформирования / Е.М.Макушок, Т.В.Калиновская и др. – Мн.: Наука и техника, 1988 – 162 с.
5. Макушок Е.М. Закономерности самоорганизации деформационного движения и расчетный метод для его анализа / Теоретическая и прикладная механика, Вып.19, Мн.: БНТУ, 2005 – С.110–122.
6. Макушок Е.М., Макушок Ю.Е. Единое условие пластичности / Теория и технология процессов пластического деформирования / Под. ред. А.В.Зиновьева. – М.: МИСИС, 1997 – С.559-565.
7. Макушок Е.М. Механика трения. – Мн.: Наука и техника, 1974 – 252 с.
8. Алифанов А.В. Обработка давлением компактных и дисперсных материалов. – Мн.: ЭКО “Перспектива”, 2004 – 370 с.