

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ НА СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Бабакулов М.А., Саадалов Т.Ы., Сеитов Б.М.

Ошский технологический университет, Ош, Кыргызстан

Аннотация: *Исследовано влияние температуры на сопротивление деформации алюминиевых сплавов при растяжении и срезе.*

Ключевые слова: *температура, тепловое движение, алюминиевый поликристалл, пластичность, скорость деформации, титановый и магниево-алюминиевый сплав.*

INFLUENCE OF TEMPERATURE AND STRAIN RATE ON THE PROPERTIES OF METALS AND ALLOYS

Babakulov M.A., Saadalov T.Y., Seitov B.M.

¹Osh University of technology, Osh, Kyrgyzstan, eakr.info@gmail.com

Annotation: *The influence of temperature on the deformation resistance of aluminum alloys under tension and shear is studied.*

Key words: *temperature, thermal motion, aluminum polycrystal, plasticity, strain rate, titanium and magnesium alloy.*

На свойства металлов и сплавов при обработке их давлением наиболее сильное влияние оказывают три основных фактора: температура, скорость деформации и вид напряженного состояния.

Из трех указанных факторов, влияющих на свойства сплавов, наиболее изучено влияние температуры деформации [1...8].

Как известно, повышение температуры обычно способствует увеличению пластичности, так как увеличивается энергия теплового движения атомов, создаются условия для одновременного действия наиболее эффективных механизмов пластической деформации. Так, например, наибольшая пластичность алюминиевых поликристаллов наблюдается при температуре в пределах 450-500°C, поскольку при этом становится возможным скольжение по двум системам: по плоскости октаэдра и по плоскости куба. При более низких температурах скольжение по плоскости октаэдра затрудняется и пластичность алюминиевых поликристаллов заметно снижается.

Прочностные свойства изменяются в зависимости от температуры по одному и тому же закону для большинства металлов и сплавов. Математически этот закон, сформулированный Н. С. Курнаковым, можно выразить следующим образом:

$$\sigma^T = \sigma^0 e^{a(T-T_0)} \quad (1)$$

где, σ^T и σ^0 – сопротивление пластической деформации при температурах T и T_0 , К, соответственно;

a – температурный коэффициент.

При исследовании влияния температуры на сопротивление деформации алюминиевых сплавов при растяжении и срезе был обнаружен резкий перелом на кривой зависимости сопротивления деформации от температуры испытания, построенной в координатах $\ln \sigma = 1/T$ в интервале 230–270° С (рис. 1). Выбор таких координат диктуется тем, что закон изменения сопротивления деформации от температуры носит экспоненциальный характер и иногда записывается в вид:

$$\sigma^T = \sigma^0 e^{-\frac{Q}{RT}} \quad (2)$$

где Q – энергия активации.

В результате этого уравнения получим

$$\Delta \ln \sigma = Q / RT \quad (3)$$

т. е. в координатах $\ln \sigma - 1/T$ этот закон должен выражаться прямой линией.

Этот перелом свидетельствует об изменении механизма деформации при повышении температуры выше указанного интервала. Такие зависимости сопротивления деформации от температуры были построены нами для большинства промышленных и некоторых модельных алюминиевых сплавов.

При этом температура перехода от одного механизма деформации к другому (T_n , °С) для всех исследованных алюминиевых сплавов в литом гомогенизированном состоянии, как видно из приведенных ниже данных, изменялась в узком интервале. По-видимому, эта температура является для алюминиевых сплавов верхней границей температурного интервала теплой деформации, о которой говорилось ранее.

АД1 250	АД31 280	АК4 280
А1—4%Си 260	АД33 240*	АКЧ-1 275
А1—1%5п 240	В65 245	В95 245
А1—0,4Ti 250	Д18 265	В96 220
АМг3 265*	АК6 265	Д16 240
АМгб 260*	АК8 ... 265	

• Деформированное состояние.

Не исключено, что наличие такой резкой границы между температурными интервалами теплой и горячей деформации подтвердится и для других сплавов, в частности для титановых и магниевых.

Подтверждением различного характера протекания пластической деформации при температурах теплой и горячей деформации служат результаты проведенных нами микроструктурных исследований, показанные в качестве примера АМгб на рис. 2. Деформирование проводилось в условиях среза до одинаковых степеней деформации. Как следует из рис. 2, при деформировании сплава АМгб срезом при температуре ниже 160°С отсутствуют видимые (Х250) следы пластической деформации, локальное разрушение носит сугубо межкристаллитный характер.

Увеличение температуры деформации до 250°C приводит к появлению следов пластической деформации, декорированных выделениями В-фазы, локальное разрушение носит транскристаллитный характер, в то время как при температуре, значительно большей температуры перехода, имеется большое количество следов пластической деформации и полностью отсутствует локальное разрушение. Следует отметить, что при температурах теплой и горячей деформации различна величина энергии активации процесса деформации Q , математическое выражение которой представлено уравнением (2). Причем, как следует из рис. 1, при низких температурах значения энергии активации процесса деформации значительно меньше, чем при высоких.

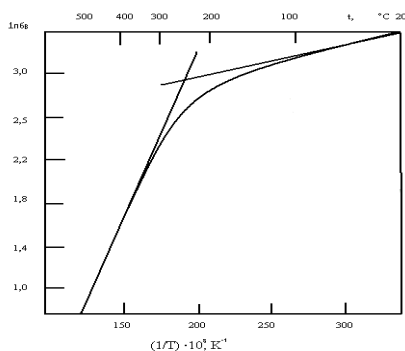


Рис.1. Зависимость сопротивления деформации сплава АМгб (литое гомогенизированное состояние) от температуры испытания.

Предположительно это можно объяснить тем, что при относительно низких температурах подвижность примесных и легирующих элементов, в частности магния, значительно ниже, чем при высоких. Следовательно, при теплой деформации примесные атомы не могут двигаться за дислокациями, в то время как при высоких температурах они двигаются вместе с дислокациями, оказывая тормозящее влияние.

Поэтому для начала движения дислокаций, за счет которых протекает пластическая деформация, требуется значительно большая энергия.

Пластическая деформация при высоких температурах протекает значительно сложнее, чем при низких, и характеризуется следующими основными процессами [7]:

- взаимным смещением зерен; образованием субзерен;
- миграцией границ зерен;
- возвратом и рекристаллизацией;
- образованием и развитием несплошностей (пор, трещин);
- одинарным, множественным, однородным и неоднородным внутризеренным скольжением;
- скольжением в двойниковых зонах;
- образованием полос аккомодации.

Следует отметить, что при повышении температуры границы зерен остаются эффективным фактором, тормозящим распространение деформации. Это, в частности, доказывается исследованиями, проведенными на алюминии высокой чистоты и на алюминиевом сплаве системы Al–Si–Mg.

Исследование начальных стадий высокотемпературной пластической деформации меди показало, что в этот период величина деформации определяется почти только межзеренным проскальзыванием.

По мере развития процесса пластического течения металла возрастает роль внутризеренного скольжения.

Развитие процесса пластического течения приводит к возникновению субструктуры и выходу полос скольжения на межзеренные границы, что затормаживает процесс проскальзывания. В ряде работ отмечается, что межзеренное проскальзывание оказывает определяющее влияние на зарождение и развитие несплошностей на границах зерен. Причем, как показывают исследования, проведенные на аустенитных сталях и алюминии методом высокотемпературной металлографии, межзеренные трещины образуются уже на начальных стадиях деформации, и поэтому при строгом подходе нельзя четко разграничить процессы горячей деформации и разрушения.

При повышении локальности подхода к процессу все больше стирается грань между деформацией без разрушения и деформацией в процессе разрушения. На это также обращал внимание еще Бриджмен, считая, что пластическая деформация тела с дискретной атомной структурой сопровождается местными нарушениями сплошности с постоянным их «самозалечиванием». Причем микротрещины, возникающие в процессе деформации задолго до разрушения, находятся не только в зоне будущего отрыва, но и в областях, значительно отдаленных от нее.

В настоящее время отсутствует какая-либо стройная система взглядов на причины исчерпания пластичности в условиях горячей обработки металлов давлением. Однако большинство исследователей считают, что причиной разрушения является локализация деформации в местах пересечения полос скольжения как между собой, так и с границами двойников и зерен.

Независимо от температуры деформирования трещины всегда располагаются вдоль направления максимальных сдвигов. Это согласуется с представлением о роли скопления дислокаций в зарождении и развитии трещин. Следует отметить, что представление о том, что скопление дислокаций и препятствий может привести к появлению трещины, было впервые высказано Моттом и подробно изучено в работах. В то же время Коттрелл считает, что это возможно только у металлов, выявляющих «зуб текучести». В процессе протекания пластической деформации возникающие многочисленные несплошности растут, объединяются в большие полости. Однако необходимо иметь в виду то, что образующиеся несплошности могут залечиваться, причем чем выше температура деформации, тем в большей степени происходит их залечивание. Таким образом, пластическая деформация сопровождается двумя прямо противоположными процессами: с одной стороны, возникновением и ростом несплошностей, с другой – их залечиванием. От соотношения скоростей протекания этих двух процессов в металлах и сплавах зависит возможность их обработки давлением. В первом приближении можно считать, что в условиях обработки давлением при отсутствии макроразрушения разность скоростей развития и залечивания несплошностей не должна превышать какой-то постоянной величины, т. е.

$$\frac{dv}{ndt} - \alpha \frac{dv}{ndt} = const, \quad (4)$$

где α – коэффициент, учитывающий уменьшение несплошностей и зависящий от температуры T , объема несплошностей V , скорости деформации ε , напряженного состояния K и структуры металла A ; n – число несплошностей.

$$\alpha = f(T; V; B; K; A)$$

Залечивание несплошностей в условиях обработки давлением при повышенных температурах осуществляется в основном вследствие направленного перемещения вещества к центру несплошности или повакусионного перемещения несплошности к внешней границе образца в результате диффузионного растворения. Кроме этого, залечивание несплошностей происходит при заполнении их объемом веществом, которое перемещается вследствие пластического течения под влиянием значительных внешних давлений.

В то же время одно гидростатическое давление само по себе без пластической деформации не приводит к залечиванию несплошностей, т.е. гидростатическое давление является лишь содействующим фактором.

Другим, не менее важным фактором, оказывающим влияние на процессы зарождения, роста и залечивания несплошностей, а следовательно, и на пластичность и сопротивление деформации, является скорость деформации. Большинство процессов обработки металлов давлением осуществляется в диапазоне скоростей $10^{-1} - 10^3 \text{ с}^{-1}$. Причем, как показывают исследования отечественных и зарубежных авторов, зависимость указанных выше свойств и процессов неоднозначна в различных интервалах скоростей и для различных групп сплавов. Обычно по мере увеличения скорости деформации сопротивление деформации повышается, а пластичность уменьшается. Однако у ряда сплавов в различных диапазонах скоростей наблюдается обратная зависимость. Это относится, в частности, к алюминиевым сплавам.

Характерным для протекания пластической деформации при высоких скоростях является выделение тепла. Известно, что значительная доля энергии, затрачиваемой на деформацию металлов, тратится на выделение тепла.

Однако при деформации с низкими скоростями (порядка 1 с^{-1}) выделяемое тепло теряется в окружающую среду, и процесс деформации можно считать изотермическим, в то время как при высоких скоростях, когда деформация осуществляется за короткий промежуток времени, выделяемое тепло не успевает рассеиваться и повышает температуру обрабатываемого металла, что в конечном счете приводит к изменению его свойств.

Из этого следует, что нельзя рассматривать влияние температуры на механизм деформации отдельно от скорости. Поэтому обычно говорят о так называемом температурно-скоростном факторе или режиме деформации.

Следует отметить, что повышение скорости деформации (как и понижение температуры) усиливает локальность протекания пластической деформации в микрообъемах, что сказывается на увеличении неравномерности распределения ее в макро-объемах.

Многие исследователи делали попытки аналитически выразить зависимость напряжения текучести от скорости деформации при заданной температуре и степени деформации.

Из них наибольшего внимания заслуживают формулы А. Рейто

$$\sigma_T = \sigma_{T_0} + n \ln \dot{\epsilon}_1 / \dot{\epsilon}_0, \quad (5)$$

по формуле И. П. Людвики.

$$\sigma_T = \sigma_{T_0} (\dot{\epsilon}_1 / \dot{\epsilon}_0)^m \quad (6)$$

где σ_{T_0} – предел текучести при скорости деформации $\dot{\epsilon}_0$; n и m – константы, определяемые экспериментально.

С. И. Губкин считает наиболее правильным использование уравнения (6) в условиях холодной и неполной холодной деформации, а уравнения (5) в случае горячей и неполной горячей деформации. На практике при расчетах удельных давлений обычно пользуются скоростным коэффициентом, который показывает, во сколько раз увеличивается напряжение текучести при определенном изменении скорости деформации.

Некоторые исследователи считают, что для описания зависимости напряжения от скорости деформации при горячей обработке металлов давлением можно воспользоваться уравнением ползучести. Аналогичных уравнений для характеристики зависимостей пластичности от скорости деформации не встречалось, поэтому обычно пользуются чисто эмпирическими данными.

Использованная литература

1. Рудаев Я.И., Чашников Д.И. Основные пути использования сверхпластичности металлов в современной технике и технологии // Судостроительная промышленность. Сер. Металлов., металлург. 1987. – Вып. 6. – С.40-48.
2. Ушков С.С., Чашников Д.И. Термин «сверхпластичность» в широком и узком значениях // Судостр. промыш. Сер. Материалов. 1990. – №13. – С.11-21.
3. Золотаревский Ю.С., Паняев В.А., Рудаев Я.И. и др. Сверхпластичность некоторых алюминиевых сплавов // Судостроительная промышленность. Серия материаловедение. 1990. – Вып.16. – С.21-26.
4. Барахтина Н.Н., Золотаревский Ю.С., Рудаев Я.И. и др. Исследование оптимальных температурно-скоростных параметров горячей прокатки листов из литого алюминиевого сплава АМгб (1561) // Вопросы материаловедения. 1992. – Вып.19-20. – С.72-79.
5. Гуляев А.П. Сверхпластичность стали. – М.: Металлургия, 1982. – 56с.
6. Микляев П.Г., Дуденко В.С. Сопротивление деформации и пластичность алюминиевых сплавов. – М.: Металлургия, 1979. – 183с.
7. Ростовцев А. Н. Исследование пластичности, механизмов деформации и разрушения сталей и сплавов при температурах горячей обработки давлением // Автореф. дисс. ... на соиск. канд. наук. – Новокузнецк, 1969. –18с.
8. Журавлев С.В. Влияние скорости и температуры деформирования на локализацию пластического течения // Автореф. дисс. ... на соиск. канд. наук. –М., 1955. –16 с.