

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Действительный член АН БССР С. И. ГУБКИН и Л. А. РАПОПОРТ

**О ПРИРОДЕ РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ
МЕТАЛЛОВ**

Большинство процессов обработки металлов давлением происходит в условиях силовой схемы трехосного сжатия. Формально такая силовая схема не может вызвать растягивающих напряжений, в условиях такой схемы могут действовать только сжимающие и касательные напряжения. В настоящее время имеются веские предположения для утверждения, что разрушение действием касательных напряжений в условиях трехосного сжатия невозможно для пластичных и даже малопластичных сплавов. Между тем, известны многочисленные случаи нарушения целостности металла в условиях силовой схемы трехосного сжатия не только для малопластичных, но даже для пластичных, а иногда и весьма пластичных сплавов. Следовательно, такое разрушение могут вызвать только растягивающие напряжения, а потому нужно найти те причины, которые возбуждают появление растягивающих напряжений в условиях трехосного сжатия.

Основной причиной образования растягивающих напряжений является неоднородность деформированного состояния, которая, в соответствии с законом дополнительных напряжений ⁽¹⁾, приводит к появлению растягивающих напряжений. Неоднородность деформированного состояния обусловлена, даже в случае однородной структуры, наличием внешнего трения, геометрией деформируемого тела и деформирующего инструмента. В результате деформация локализуется в объеме тела в строго определенных направлениях. Такими направлениями являются направления максимальных сдвигающих напряжений.

В областях локализации имеют место следующие явления: 1) наиболее интенсивная пластическая деформация; 2) максимальное проявление теплового эффекта, а следовательно, наибольший местный подъем температуры в процессе деформации.

В местах локализации пластическая деформация неоднородна, и степень этой неоднородности больше, чем в других местах деформируемого тела. Поэтому именно в местах локализации пластической деформации при соответствующих условиях происходит: 1) возникновение растягивающих напряжений значительной величины; 2) протекание структурных изменений путем рекристаллизации; 3) образование новых фаз, если данный сплав при его нагреве и охлаждении претерпевает фазовые превращения.

Все эти явления оказывают существенное влияние на пластичность металла и на механические свойства деформированных изделий.

Если растягивающие напряжения в областях локализации будут достигать критических значений, соответствующих напряжению отрыва при данных температурно-скоростных условиях деформации, то в местах локализации неизбежно появление ультрамикротрещин и микротрещин,

приводящих при определенных условиях к разрушению. Если разрушения и не произойдет, то возникшие микротрещины могут значительно снизить механические свойства изделий.

В случае достаточного подъема температуры в процессе пластической деформации в местах локализации происходят структурные изменения и могут протекать фазовые превращения. Впервые возможность протекания фазовых превращений заметил В. П. Кравз-Тарнавский⁽²⁾, именем которого названа характерная прослойка, возникающая в местах локализации. В работе Л. А. Рапопорта⁽³⁾ было подтверждено, что образование этой прослойки наблюдается именно в местах локализации деформации, так как им были обнаружены подобные прослойки не только при обычном осаживании, но и при вдавливании пунсона в пластичное полупространство и при осаживании в закрытом ручье.



Рис. 1. Электронная микрофотография структуры полоски Кравз-Тарнавского; $\times 5000$

Заслуживает внимания следующий факт. Локализация пластической деформации протекает тем интенсивнее, чем резче выражены факторы, способствующие локализации. Например, локализация должна быть более резко выражена в случае осаживания в закрытом ручье, чем в случае открытого осаживания. Эксперимент подтверждает это заключение. При осаживании в закрытом ручье область локализации сужается, т. е. локализация выражена резче. Если в широкой области локализации (при открытом осаживании) микротвердость снижается к краям прослойки более или менее постепенно, то при наличии узких прослоек (осаживание в закрытом ручье) микротвердость изменяется резко. Кроме того, в широких прослойках между структурой прослойки и основной структурой металла наблюдается область промежуточных структур, чего не наблюдается в случае узких прослоек. В результате узкие прослойки в большей степени являются концентраторами растягивающих напряжений, чем широкие прослойки. При открытом осаживании образцов со структурой зернистого перлита локализация пластической деформации протекает менее интенсивно, в результате чего прослойка не возникает при тех же условиях, при которых она возникает в случае структуры пластинчатого перлита или других структур. Переход же от открытого осаживания к схеме напряженного состояния, более способствующей локализации, например переход к осаживанию в закрытом ручье, вызывает появление прослойки даже при структуре зернистого перлита, что подтверждено экспериментально⁽³⁾.

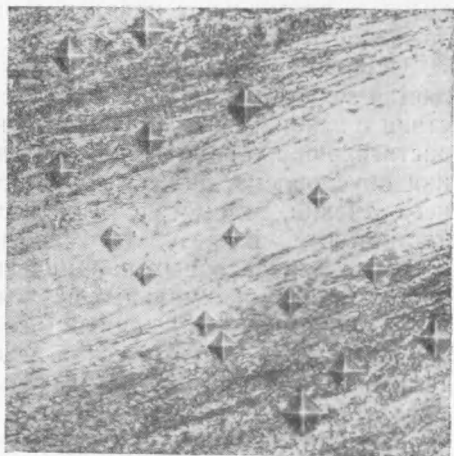


Рис. 2. Микрофотография изменения микротвердости по ширине прослойки локализации; $\times 596$

Наиболее значительный эффект повышения растягивающих напряжений произойдет в том случае, когда в местах локализации будут протекать структурные изменения и особенно фазовые превращения, обычно связанные с изменением объема.

Область локализации неоднородна как в отношении структуры, так и в отношении механических свойств. Действительно, в случае деформации ударом средне- и высокоуглеродистых сталей в местах локализации возникает прослойка, структурой которой является скрытоногльчатый мартенсит, как это удалось установить при помощи электронного микроскопа (см. рис. 1). Указанная прослойка имеет неоднородную микротвердость. Изменение микротвердости поперек прослойки показано на микрофотографии (см. рис. 2). Интересно отметить, что не только в случае деформации ударом при комнатной температуре, но и при ударной деформации при температуре 600° возникает такая же мартенситная неоднородная прослойка.

Неоднородность прослойки должна вести к образованию в ней растягивающих напряжений значительной величины. Если к этому добавить еще различие в удельных объемах прослойки и окружающей ее среды ⁽⁴⁾, то, очевидно, что растягивающие напряжения могут получить весьма высокое значение, намного превосходящее по величине то напряжение, которое необходимо для появления трещины. Эксперименты показывают, что прослойки как разываются теми местами, где действительно зарождаются микротрещины (см. рис. 3).

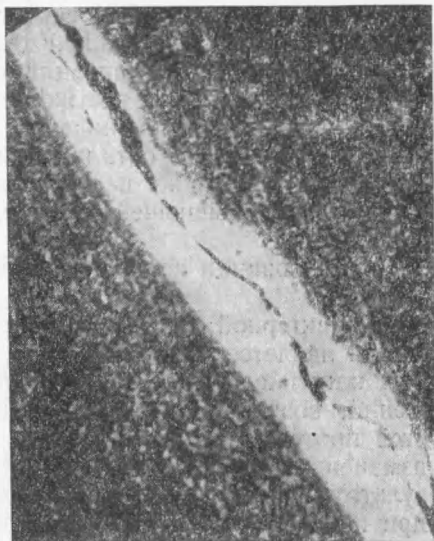


Рис. 3. Микротрещина в прослойке локализации; $\times 596$

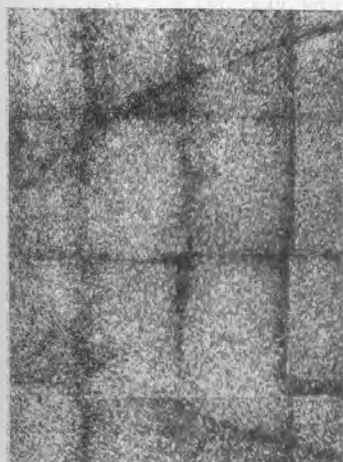


Рис. 4. Прослойка локализации, по которой произошло разрушение при вдавливании пунсона в пластичное полупространство

Будем в дальнейшем места локализации пластической деформации, в которых протекают те или иные структурные изменения или фазовые превращения, отличные от изменений в основной массе металла, называть прослойками локализации. Полоска Кравз-Гарнавского, в которой протекает мартенситное превращение, является одним из видов прослоек локализации.

Выше было уже упомянуто, что места локализации должны появляться при любом процессе пластической деформации. Следовательно, прослойка локализации может возникать при любых процессах пластической деформации. На рис. 4 показана прослойка локализации пластической деформации при вдавливании пунсона в пластичное полупространство. Исследования показали, что именно в прослойках локализации пластическая деформация заканчивается разрушением (см. рис. 4).

В случае вытяжки под бойками хорошо известно наблюдаемое явление «ковочного креста». Вполне понятно, что «ковочный крест» отображает места локализации пластической деформации и представляет собой не что иное, как один из видов прослоек локализации.

Переход к прокатке не меняет сущности дела, так как процесс из

периодического становится регулярным. Однако макролокализация и здесь должна иметь место в поверхностях максимальных сдвигающих напряжений. Таким образом, при любом процессе пластической деформации в реальных условиях с наличием трения, повидимому, неизбежна локализация пластической деформации. Поэтому локализацию пластической деформации можно считать особенностью, присущей реальным процессам пластической деформации. В случае горячей деформации, когда в областях локализации фазовые превращения будут отсутствовать, в этих областях все же будет происходить структурные изменения, в результате чего механические свойства областей локализации будут отличны от свойств остальной массы деформируемого тела. Это обстоятельство будет также вести к появлению растягивающих напряжений, но в значительно меньшей степени, чем при протекании фазовых превращений.

На основании всего изложенного можно сделать следующее заключение.

Характерной особенностью реального процесса пластической деформации является локализация ее в поверхностях максимальных касательных напряжений, где, в соответствии с законом дополнительных напряжений, возникают растягивающие напряжения. Вблизи этих поверхностей протекают, независимо от способа деформирования, структурные изменения, а при определенных условиях и фазовые превращения, в результате чего образуются прослойки локализации. В этих прослойках при известных условиях образуются микротрещины, приводящие металл к разрушению.

Физико-технический институт
Академии наук БССР

Поступило
30 XI 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ С. И. Губкин, Теория обработки металлов давлением, 1947. ² В. К. Кравз-Тарнавский, ЖРМО, № 3 (1928). ³ Л. А. Рапопорт, Микроскопическое исследование сдвиговой деформации поликристаллов при ударном деформировании. Диссертация, 1952. ⁴ Н. Н. Давиденков, И. Н. Миролюбов, Вестн. металл. пром., № 9—10 (1930).