

МАКРОСТРУКТУРА ОБРАЗЦОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТЯХ ОСАЖИВАНИЯ

А. И. Сафанович, И. И. Макашевская

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель С. Б. Сарело

Известно, что при статическом деформировании образцов свободной осадкой между плоско-параллельными плитами, между торцами образца и плитами возникают силы трения, которые направлены в сторону, противоположную направлению течения, т. е. по радиусу от периферии к центру. Эти силы трения обуславливают возникновение в осаживаемом образце объемно-напряженного состояния. Так как действие касательных напряжений, вызванных силами трения на контактных плоскостях, распределено по высоте осаживаемого образца неравномерно, то объемно-напряженное состояние и течение металла при осадке являются неравномерными. Внешне эта неравномерность проявляется в том, что после осадки цилиндрические образцы приобретают бочкообразную форму, причем характер и мера этой бочкообразности в сильнейшей степени зависят от отношения диаметра к высоте осаживаемого образца.

Исследование распределения деформаций по сечению образца, проходящему через его ось, проведенное при анализе макрошлифов, приготовленных из осаженных образцов, позволяет установить, что при начальном отношении $d_0/l_0 = 0,5$ в образце наблюдается три зоны деформации (рис. 1 и 2).

Зоны, прилегающие к торцам, деформируются очень незначительно. Макроструктура в этих зонах имеет параллельно-полосчатый характер, подобный на структуру недеформированного образца. Зона 1 имеет форму конусов с углом при вершине около 90 градусов (рис. 1, а). При увеличении степени деформации конусы постепенно сближаются и при встрече вершин начинают деформироваться (рис. 1, в). Зоны 1 как бы расклинивают находящуюся между ними зону 2, деформация в которой является наиболее интенсивной. В области раздела первой и второй зон металл последней как бы обтекает первую зону и стремится выйти на контактную плоскость, что хорошо подтверждается рассмотрением микроструктуры осаженного образца.

Набеганию боковой поверхности на контактную способствуют бочкообразность образца в процессе осадки. На рис. 3 видно, что при движении бойка по стрелке А точки «а» и «в» будут стремиться расположиться на уровне поверхности бойка.

В зоне 3 деформация носит сравнительно равномерный характер: полосы макроструктуры несколько искривлены, копируя боковую поверхность образца, но эквидистантны друг другу. Интенсивность деформации в зоне 3 занимает промежуточное значение между двумя первыми. С увеличением степени осадки величина зоны 3 уменьшается.

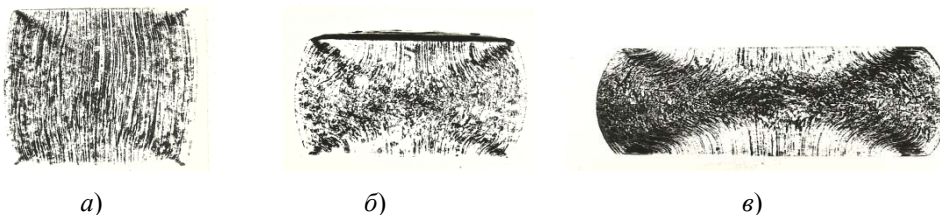


Рис. 1. Макроструктура образцов из стали 45 при статическом осаживании:
 $a - \varepsilon = 30 \%$; $b - \varepsilon = 38,7 \%$; $v - \varepsilon = 54 \%$

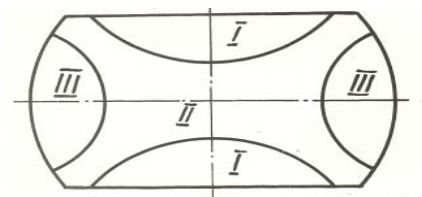


Рис. 2. Зоны деформации при осадке образцов со скоростью $V_0 = 200$ и 320 м/с

При скоростях деформирования свыше 100 м/с характер течения металла резко изменяется. Осаженный со скоростью 100 м/с и небольшими степенями деформации образец почти сохраняет цилиндрическую форму. На макрошлифе не наблюдается зон деформации, а волокна параллельны друг другу и свободной поверхности образца, что говорит о сравнительно равномерной деформации. С увеличением степени осадки начинает проявляться неравномерность деформации. На рис. 4, б, где показан макрошлиф образца, осаженного со скоростью $V_0 = 100$ м/с и степенью деформации $\varepsilon = 38,7 \%$, у неподвижного торца начинает появляться зона торможения. При степени осадки $\varepsilon = 57,5 \%$ (рис. 4, в) зона торможения у неподвижного торца просматривается вполне отчетливо, она похожа на зоны I статически осаженного образца. Здесь, также как и при статическом осаживании, происходит переход боковой поверхности на контактную. Отсюда можно сделать вывод, что влияние скорости деформирования вплоть до $V_0 = 100$ м/с на изменение макроструктуры у неподвижного торца сказывается незначительно. По-видимому, силы контактного трения у неподвижного торца изменяются сравнительно мало, у ударяемого торца выход боковой поверхности на контактную отсутствует. Увеличение торцевой поверхности осуществляется за счет течения металла относительно плоскости инструмента, что в дальнейшем будет подтверждено исследованием микроструктуры осаженных образцов. Зона торможения у ударяемого торца почти отсутствует, а зоны II и III практически слились. Волокна макроструктуры вдоль всего ударяемого торца перпендикулярны торцу образца.

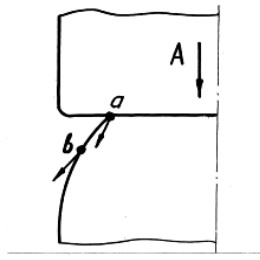


Рис. 3. Схема, отражающая явление набегания боковой поверхности на контактную

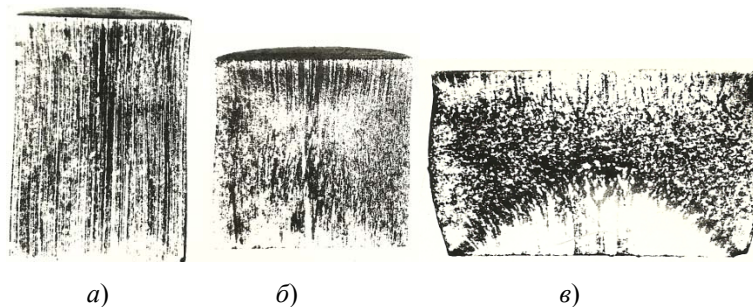


Рис. 4. Макроструктура образцов из стали 45, осаженных со скоростью $V_0 = 100$ м/с: а — $\varepsilon = 21$ %; б — $\varepsilon = 38,7$ %; в — $\varepsilon = 57,5$ %

При осаживании образцов с начальной скоростью деформирования $V_0 = 200$ м/с на макрошлифах (рис. 5) видно, что на ударяемом торце волокна изогнуты в сторону, противоположную изгибу волокон при статическом осаживании. Волокна макро-структуры образцов, осаженных до степеней $\varepsilon = 30$ и $38,7$ %, сравнительно хорошо копируют форму боковой поверхности (рис. 5, а и б). Зон деформации не наблюдается. С увеличением степени деформации на макрошлифе все отчетливее начинают вырисовываться две зоны (рис. 5, в). Одна зона имеет форму параболоида вращения с основанием на ударяемом торце, вторая зона опоясывает первую и занимает весь остальной объем образца (рис. 6). Наиболее интенсивная деформация в первой зоне идет у основания параболоида (на ударяемом торце образца), при удалении же от ударяемого торца интенсивность деформации первой зоны уменьшается. Больше всего при этом деформируется область раздела первой и второй зон, волокна макро-структуры здесь наиболее искривлены.

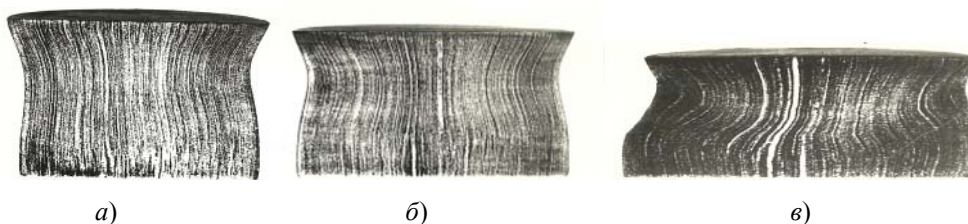


Рис. 5. Макроструктура статически осаженных образцов из стали 45:
а — $\varepsilon = 32,6$ %; б — $\varepsilon = 50,8$ %; в — $\varepsilon = 60$ %

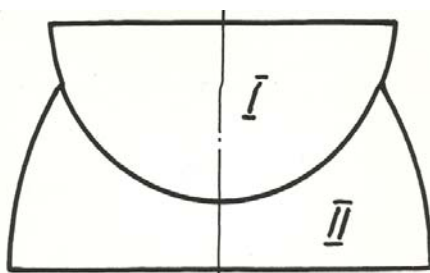


Рис. 6. Зоны деформации при осаживании цилиндрических образцов

Неравномерность деформации при высокоскоростном осаживании можно существенно уменьшить, используя инструмент с повышенной шероховатостью контактных поверхностей. При этом значительно возрастают силы контактного трения, которые препятствуют свободному перемещению частиц металла относительно контактных поверхностей инструмента. Это приводит к появлению ярко выраженного объемного напряженного состояния и повышенному расходу энергии для получения таких же степеней осадки, как и при осаживании образцов инструментом с полированными контактными поверхностями. Пробные эксперименты, показали, что применение инструмента с различной шероховатостью контактных поверхностей позволяет получить при высокоскоростной осадке ($V_0 = 90\text{--}340$ м/с) не только цилиндрические образцы, но и образцы, имеющие бочкообразную форму.

Заключение

1. Установлено, что при скоростях осаживания $V_0 = 100\text{--}320$ м/с деформация образцов носит ярко выраженный неравномерный характер как по длине образца, так и во времени.

2. С помощью скоростного фотографирования установлено, что при осаживании со скоростями $V_0 > 100$ м/с нельзя пренебрегать процессом распространения пластических деформаций в образце.

3. Показано, что с увеличением скорости деформирования при высокоскоростном осаживании (при прочих равных условиях) неравномерность распределения деформаций по объему образца возрастает.

4. Плоские до деформации сечения при скоростях осаживания свыше 150 м/с претерпевают значительные изменения, поэтому при анализе процессов высокоскоростного деформирования к гипотезе плоских сечений следует подходить очень осторожно.

5. С помощью макроструктурного анализа исследована картина течения металла при осаживании со скоростями $V_0 = 100\text{--}320$ м/с.

6. Установлено, что при осаживании со скоростями $V_0 = 200\text{--}320$ м/с в образце образуются в образце две зоны деформации, в области раздела которых чаще всего происходит разрушение образца.