

грубых "борозд", что дает увеличение размеров профиля за пределы допуска. Такая картина наблюдается уже после 4–5 прессовок.

При прессовании через матрицы, не подвергнутые диффузионному упрочнению, происходит равномерное изменение размеров профиля и после 5 прессовок достигает критических значений.

Аналогичный равномерный износ матриц и рост размеров профиля наблюдается при использовании цементированных матриц, но критическое увеличение приходится на 6–7 прессовку, что связано с некоторым увеличением теплостойкости поверхности инструмента.

У профилей, полученных при использовании азотированных матриц, заметного увеличения размеров профиля нет и после 4–5 прессовок. Это говорит о том, что на данном этапе прессования разогрев поверхности еще не достиг температур интенсивного разупрочнения азотированных слоев.

Снижение размеров профиля после 6 прессовок объясняется тем, что после 5 прессовок матрицы охлаждали до комнатных температур для контроля. Размеры очка матрицы вследствие термической усадки уменьшались, что и привело к уменьшению размеров профиля.

Таким образом, лучшие результаты, достигнутые при работе на азотируемых матрицах, показывают перспективность данного процесса упрочнения для увеличения стойкости прессовочных матриц и улучшения качества СФП. Особенно при использовании специальных азотируемых сталей с Al и Ti, придающих азотированному слою повышенную теплостойкость.

УДК 621.891

А.В.Белый

## О КИНЕТИКЕ ПРОЦЕССОВ УПРОЧНЕНИЯ ПРИ ТРЕНИИ

Важной стороной процесса сухого трения твердых тел является образование и срез мостиков сварки. Однако, предлагаемая адгезионной теорией [1] модель разрушения мостика сварки с концентрацией сдвига в слое бесконечно малой толщины справедлива лишь для идеального жестко-пластичного тела и не соответствует физической картине явления. Рассмотрение среза при трении для реальных тел, способных деформиро-

ваться в диапазоне напряжений  $\tau_0 - k$ , где  $\tau_0$  - предел жесткости или упругости, а  $k$  - предел текучести, проведенное в [2], показывает применимость для этого случая меридионального поля линий скольжения, в котором заданное сдвигающее усилие обуславливает уменьшение максимального сдвигающего напряжения  $\tau_{max}$  по мере удаления от главного направления сдвига. При этом распределение  $\tau_{max}$  можно аппроксимировать соотношением  $\tau_{max} = k \cos^2 \psi$  (рис.1), а область пластической деформации оказывается ограниченной чечевицей с характерным углом  $\psi_0 = \arccos \sqrt{\frac{\tau_0}{k}}$ . Если границу этой области описывать параболой, то при диаметре мостика сварки  $d$  для глубины зоны пластической деформации  $h_0$  получаем соотношение

$$h_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{k}{\tau} - 1} \cdot d.$$

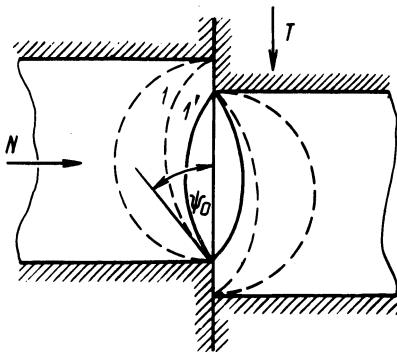


Рис. 1. Схема зоны пластического деформирования при срезе мостика сварки: N - нормальная нагрузка; T - тангенциальная нагрузка; I и I' - кривые, описывающие область деформации на различных этапах сдвига.

Для анализа процесса накопления повреждений в поверхностных слоях при трении представляется интересным сравнить значение  $h_0$  с глубиной зоны низкой дислокационной плотности на поверхности  $h_1$ , обусловленной действием на дислокации вблизи поверхности "сил изображения"  $\sim \frac{r_0}{h}$ , где  $r_0$  - радиус ядра дислокации,  $h$  - расстояние дислокации от поверхности [3]. Согласно [4]

$$h_1 = \frac{Gb}{4\pi(1-\nu)\sigma_f},$$

где  $G$  - модуль упругости;  $b$  - вектор Бюргера дислокации;  $\nu$  - коэффициент Пуассона;  $\sigma_f$  - напряжение трения дислока-

ции. Последняя величина является весьма чувствительной к структурному состоянию материала и обеспечивает изменение  $h_1$  от десятков микрон для высокочистых материалов до сотых и тысячных долей микрона при наличии инородных включений, вкраплений окислов и т.п. Представление о наличии при трении зоны низкой дислокационной плотности оказывается справедливым, поскольку в состоянии фактического контакта в каждый данный момент времени находится лишь небольшой процент от общего числа поверхностных шероховатостей.

Выбирая для  $\psi$  в качестве типичного значения величину  $1^\circ$ , а для  $d$  диапазон значений 1–100 мк, видим, что в принципе  $h_1$  и  $h_0$  величины одного порядка. Исходя из этого, можно предположить следующие фрикционные ситуации. Если  $h_0 < h_1$ , то генерируемые при пластической деформации дислокации будут разряжаться через контактную поверхность и приповерхностный слой не будет испытывать значительного упрочнения и, наоборот, при  $h_0 > h_1$  этот слой будет сильно упрочняться, что в конечном итоге приведет к его разрушению и интенсивному изнашиванию. В пользу приведенной модели свидетельствует ряд экспериментальных факторов, например [5], где показано, что при сходных условиях испытания (материалы, качество поверхности, скорость, нагрузка) износные характеристики решающим образом зависят от плотности включений в материалах.

В условиях граничного трения весьма важным параметром оказывается поверхностная активность смазки, поскольку уменьшение поверхностной энергии контактирующих поверхностей при адсорбции на них смазочных слоев также может значительно уменьшать значение  $\sigma_f$  увеличивая тем самым  $h_1$  и способствуя улучшению износных характеристик.

#### Л и т е р а т у р а

1. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка твердых тел. М., 1968.
2. Макушок Е.М. Механика трения. Минск, 1974.
3. Хирт Д.П. Лоте И. Теория дислокаций. М., 1972.
4. Suh N.P. The Delamination Theory of Wear. 25, 1973.
5. Suh N.P. Further Investigation of the Delamination Theory. 96, ser. F, 1975.