

УДК 621.937

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЖИДКОСТНОЙ ПРОСЛОЙКИ НА ВЕЛИЧИНУ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ЖЕСТКОГО ИНДЕНТОРА В ПЛАСТИЧНОЕ ОСНОВАНИЕ И ЕГО ПОСЛЕДУЮЩЕМ ИЗВЛЕЧЕНИИ

**М. Г. КИСЕЛЕВ, А. А. НОВИКОВ,
А. Н. КАПОРИН, Д. А. СТЕПАНЕНКО**

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Введение

Целью данных исследований явилось изучение закономерностей внедрения жесткого индентора в пластичный материал при наличии жидкой среды и без неё и оценка степени закрепления индентора при различных направлениях его последующего извлечения. Установление и количественная оценка таких закономерностей представляют значительный интерес для ряда практических приложений, в частности, для повышения качества шаржирования поверхностей абразивными (алмазными) зёрнами за счет определения условий выполнения этой операции, обеспечивающих высокую степень закрепления зёрен в материале подложки. В свою очередь, это позволит повысить режущую способность и стойкость инструментов, имеющих на рабочих поверхностях алмазоносный слой, сформированный методом шаржирования.

Методика проведения исследований

При моделировании процесса пластической деформации материалов, в частности, обработки металлов давлением, широко используется масштабное физическое моделирование. При этом в качестве модельного материала применяют как пластичные металлы (например, алюминиевые сплавы), так и различные неметаллические материалы (например, воск и пластилин) [1], [2]. В данной работе в качестве модельного материала использовался пластилин. В качестве модели абразивной частицы был взят сферический индентор диаметром 7 мм, изготовленный из яшмы с полированной поверхностью. Индентор внедрялся в пластичное основание из модельного материала. Для последующего извлечения индентора использовалась тонкая стальная проволока, которая с помощью эпоксидной смолы закреплялась в предварительно просверленном в нем глухом отверстии диаметром 1 мм и глубиной 5 мм.

Эксперименты по внедрению и извлечению индентора проводились на специально созданной экспериментальной установке (рис. 1), оснащенной соответствующими средствами измерений, позволяющими определять зависимость усилия внедрения (извлечения) индентора от глубины его погружения в материал подложки.

Компоновка узлов экспериментальной установки позволяла производить извлечение индентора в двух направлениях: нормально и тангенциально к поверхности пластилинового основания. На рис. 2 представлена схема установки, соответствующая извлечению индентора в нормальном направлении.

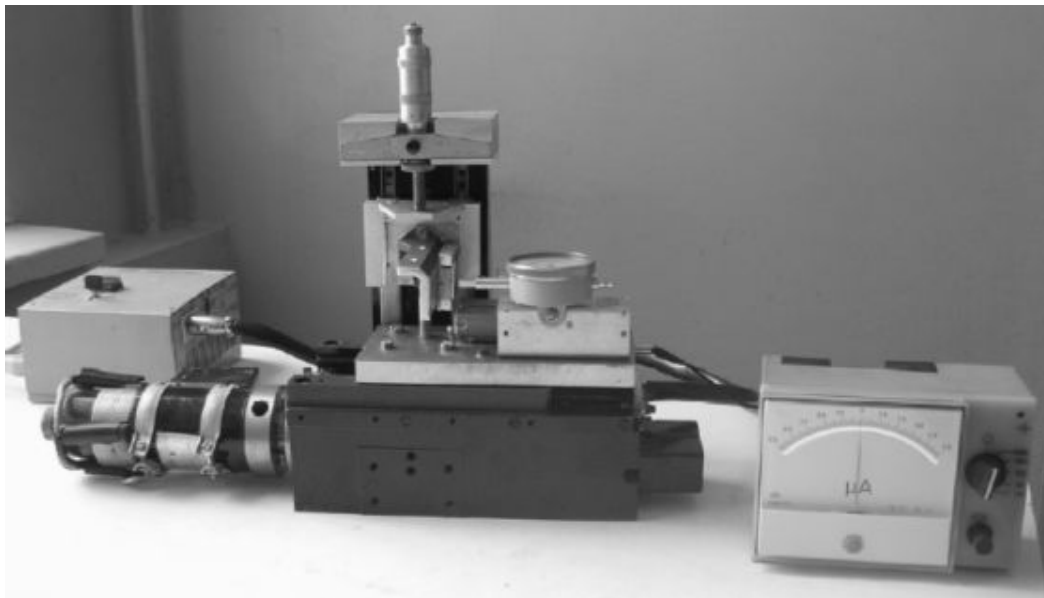


Рис. 1. Фотография общего вида экспериментальной установки

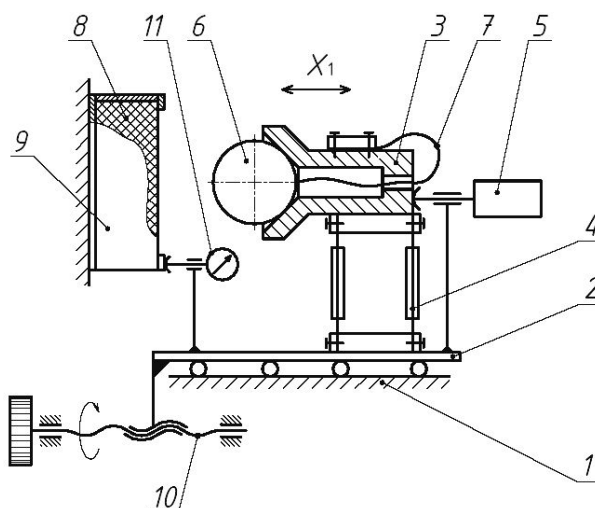


Рис. 2. Схема установки, соответствующая извлечению индентора в нормальном направлении

Установка состоит из жесткого основания *1* с установленной на направляющих качения кареткой *2*, на которой смонтирован измерительный узел. Последний включает в себя втулку *3* для внедрения индентора, упругий параллелограмм *4* и индуктивный датчик *5*, жестко закрепленный на каретке *2*.

Тонкая стальная проволока *7*, на одном из концов которой закреплен индентор *6*, вторым концом крепится к втулке *3*.

Пластичное основание *8* помещается в сборное удерживающее приспособление *9*, жестко закрепленное на основании *1*. Это приспособление имеет возможность поворота, благодаря чему пластичное основание при его неизменном закреплении в приспособлении может принимать как вертикальное, так и горизонтальное положение.

Посредством передачи *10* винт-гайка каретке *2* сообщается движение в продольном направлении. Величина ее перемещения относительно поверхности пластичного основания, т. е. глубина внедрения, измеряется с помощью индикатора *11* часового типа ИЧ-1, закрепленного на каретке *2*.

Методика выполнения каждого эксперимента включала в себя два последовательных этапа. На первом этапе осуществлялось внедрение индентора в пластичное основание, для чего путем вращения от руки ходового винта каретку плавно подвигали к основанию до касания индентором его поверхности. В этом положении шкала индикатора устанавливалась на нуль. Затем путем дальнейшего перемещения каретки производилось внедрение индентора, глубина которого определялась по показаниям индикатора часового типа. Одновременно с этим под действием усилия внедрения происходила деформация упругого параллелограмма, вызывающая пропорциональное изменение выходного сигнала индуктивного преобразователя, которое фиксировалось с помощью микроамперметра. Предварительно с использованием образцового динамометра была проведена тарировка этой силоизмерительной системы.

После завершения внедрения индентора на требуемую глубину и выдержки в этом положении в течение 10 секунд приступали к выполнению второго этапа эксперимента – извлечению индентора из пластилина. Для этого каретку плавно перемещали в обратном направлении и с помощью проволоки, жестко связанной с индентором и кареткой, происходило его извлечение, в ходе которого с помощью той же силоизмерительной системы измерялась величина возникающего усилия.

Для изучения процесса внедрения индентора и его последующего извлечения в тангенциальном направлении (рис. 3) в установку были внесены следующие изменения. На кронштейне 12, жестко связанном с основанием 1, на направляющих качения устанавливалась каретка 13, на которой монтировалось сборное удерживающее устройство 9 для пластичного основания 8. С помощью микровинта 15 каретка 13 приводилась в движение в вертикальном направлении. Силовое замыкание винта и каретки осуществлялось посредством пружин 14. Величина перемещения каретки измерялась с помощью индикатора часового типа 11. На горизонтальной каретке 2 была жестко закреплена втулка 3 с коническим отверстием, в которое помещался индентор 6 таким образом, чтобы проволока 7, закрепленная одним концом в нем, а другим – на упругом параллелограмме, занимала горизонтальное положение.

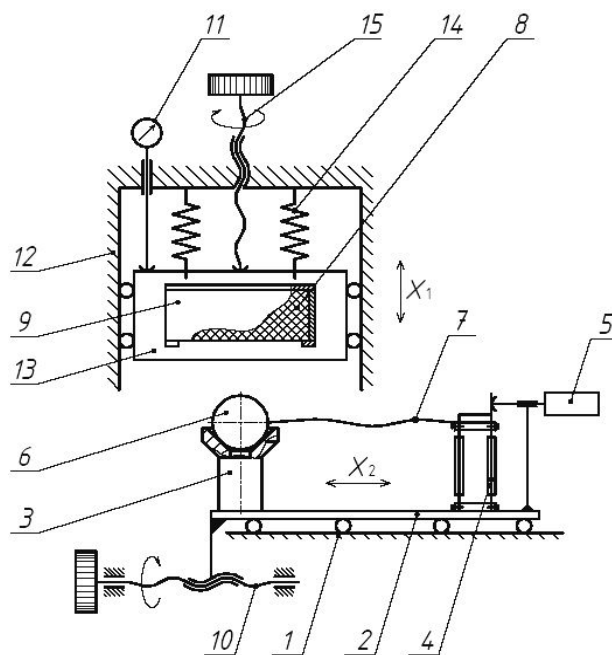


Рис. 3. Схема установки, соответствующая извлечению индентора в тангенциальном направлении

Как и в предыдущем случае методика проведения эксперимента включала два последовательных этапа. На первом этапе осуществлялось внедрение неподвижного индентора в пластичное основание. Для этого с помощью винтовой передачи 10 перемещали каретку 2 таким образом, чтобы индентор 6 располагался посередине основания 8. Затем посредством микровинта 15 каретку 13 перемещали вниз до момента касания поверхности пластичного основания с индентором. В этом положении шкала индикатора устанавливалась на нуль.

Путем дальнейшего перемещения каретки 13 вниз осуществлялось внедрение индентора в пластичный материал на требуемую глубину, которая контролировалась индикатором часового типа.

После внедрения индентора и выдержки в этом положении в течение 10 секунд приступали к этапу его извлечения из пластилина. С этой целью с помощью микровинта 15 пластилиновый образец с внедренным в него индентором поднимался вверх с таким расчетом, чтобы индентор покинул коническое отверстие во втулке 3. После этого посредством перемещения каретки 2 с помощью передачи 10 винт-гайка производилось извлечение индентора из материала образца в тангенциальном направлении с измерением соответствующего усилия.

В ходе проведения исследований эксперименты по внедрению индентора проводились «на сухую», когда его поверхность предварительно протиралась спиртом, а также при наличии на его поверхности жидкой фазы, для чего он смачивался водой.

Результаты и их обсуждение

На рис. 4 приведены зависимости усилий внедрения и извлечения индентора от глубины его погружения в пластилин при различных контактных условиях, полученные при проведении экспериментов в соответствии со схемами, приведенными на рис. 2 и 3. Каждая точка на графиках соответствует среднему значению параметра по результатам пяти опытов.

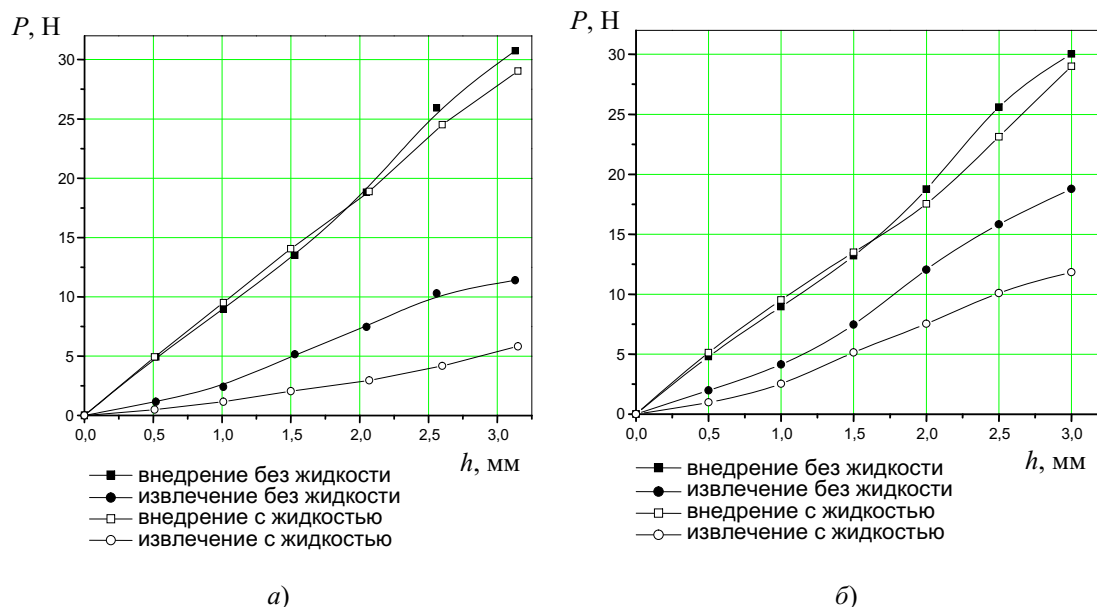


Рис. 4. Зависимости усилий внедрения и извлечения индентора от глубины его погружения при наличии жидкостной прослойки и без нее:

a – извлечение в нормальном направлении, b – извлечение в тангенциальном направлении

Из анализа полученных зависимостей следует, что по мере увеличения глубины погружения сферического индентора в пластичный материал усилие его внедрения возрастает линейно. При этом его величина практически не зависит от контактных

условий, т. е. наличие жидкой фазы (зависимость 1) не оказывает ощутимого влияния на усилие внедрения по сравнению со случаем внедрения «на сухую» (зависимость 2). Полученные результаты хорошо согласуются с имеющимися литературными данными [3].

С увеличением глубины внедрения индентора практически линейно возрастает величина усилия его извлечения в направлении, перпендикулярном поверхности пластичного основания, при этом наличие в процессе внедрения воды приводит к существенному снижению усилия извлечения индентора (зависимость 3) по сравнению с извлечением после внедрения «на сухую» (зависимость 4). Такая ситуация объясняется влиянием на усилие извлечения процесса адгезионного взаимодействия внедренной поверхности индентора с пластилином. Наличие жидкой фазы приводит к возникновению между внедренной поверхностью индентора и материалом подложки экранирующей жидкостной прослойки, препятствующей адгезионному сцеплению указанных поверхностей, что приводит к снижению степени закрепления индентора. Отмеченные положения наглядно иллюстрируются фотографиями отпечатков, полученных на пластилине после извлечения индентора (рис. 5).

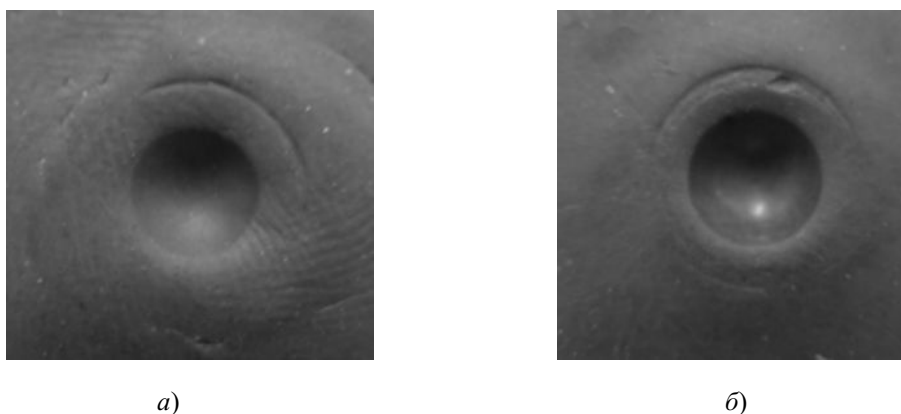


Рис. 5. Фотографии отпечатков, полученных на пластилине после извлечения индентора:
а – при внедрении «на сухую»; б – при внедрении с водой

Так, на поверхности отпечатка, соответствующего внедрению индентора «на сухую», четко видны следы адгезионного взаимодействия, в результате которого возникла определенная шероховатость. Совершенно иной вид имеет поверхность отпечатка, соответствующего внедрению индентора с водой. На ней следы адгезионного взаимодействия полностью отсутствуют, и она имеет полированный вид, что подтверждает экранирующее действие жидкостной прослойки.

Аналогичным образом наличие жидкой фазы влияет на усилие извлечения в тангенциальном направлении. При этом для одинаковых контактных условий и равных глубин внедрения усилие извлечения в тангенциальном направлении оказывается больше усилия извлечения в нормальном направлении. Это можно объяснить тем, что при извлечении индентора в нормальном направлении работа усилия извлечения полностью затрачивается на разрушение адгезионных связей между контактирующими поверхностями индентора и материала подложки. При извлечении же индентора в тангенциальном направлении часть работы силы извлечения затрачивается на пластическую деформацию материала подложки, что иллюстрируется фотографией поперечного сечения отпечатка в направлении извлечения индентора (рис. 6).

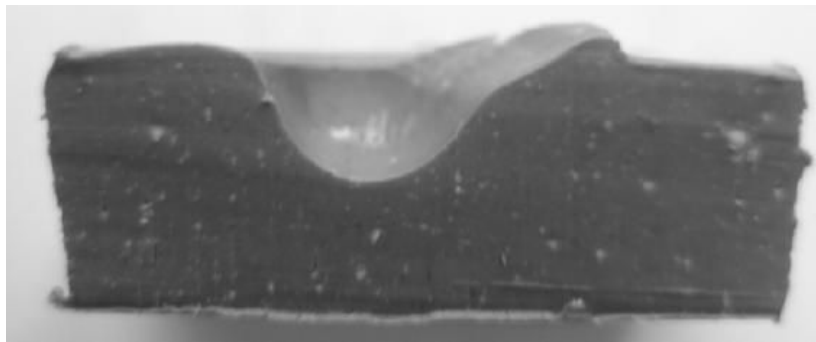


Рис. 6. Фотография поперечного сечения отпечатка при извлечении индентора в тангенциальном направлении

Заключение

Создана экспериментальная установка и разработана методика измерений, позволяющие количественно оценивать влияние глубины и условий внедрения сферического индентора в пластичный материал на прочность его закрепления в нем.

Установлено, что усилие внедрения сферического индентора в пластичный материал возрастает пропорционально глубине внедрения. При этом наличие жидкой фазы практически не влияет на усилие внедрения.

Установлено, что усилие, необходимое для извлечения индентора, линейно возрастает с увеличением глубины внедрения, причем оно значительно меньше усилия внедрения. Наличие жидкой фазы оказывает существенное влияние на усилие извлечения, снижая его в 2–2,5 раза. Учитывая этот факт, применительно к шаржированию поверхностей абразивными частицами представляется рациональным осуществлять этот процесс «на сухую», т. е. без применения жидкой фазы. В частности, возможна предварительная фиксация частиц с помощью клея.

Литература

1. Sofuoglu, H. Flow behavior of Plasticine used in physical modeling of metal forming processes / H. Sofuoglu, J. Rasty // Tribology International. – Vol. 33. – 2000. – P. 523–529.
2. Pertence, A. E. M. Analysis of a new model material for the physical simulation of metal forming / A. E. M. Pertence, P. R. Cetlin // Journal of Materials Processing Technology. – Vol. 84. – 1998. – P. 261–267.
3. Дрозд, М. С. Инженерные расчеты упругопластической контактной деформации / М. С. Дрозд, М. М. Матлин, Ю. И. Сидякин. – Москва : Машиностроение, 1986. – 224 с.

Получено 06.01.2007 г.