

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВИДА И ПОВЕДЕНИЕТО НА ОТПЕЧАТЪКА ПРИ МИКРОИНДЕНТАЦИОННИЯ ЕКСПЕРИМЕНТ

Галина Замфирова, Валентин Гайдаров

gzamfirova@mail.bg

**ВТУ „Т. Каблешков“ София 1574, ул. „Гео Милев“ 158
БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: микротвърдост по Викерс, механични свойства, полимерни материали

Резюме: Разгледани са различни видове отпечатъци, получени след изваждане на Викерсовия индентор и тяхната промяна с времето, което дава директна информация за особеностите в механичното поведение на изследваните образци. Дискутирани са природата и причините за възникване на т. н. „pile-up” и „sink-in” ефекти, както и склонността към пукнатинообразуване. Статията е илюстрирана с богат снимков материал от наши изследвания на конкретни материали направен чрез оптична микроскопия. Показано е как само на базата на вида на отпечатъка могат да се правят изводи за структурните и механични особености на материала.

Отпечатъците при микроиндентационния експеримент и кинетиката на тяхното развитие могат да бъдат много разнообразни, което е свързано с особеностите на материалната структура, рефлектираща в механичното поведение на изследваните образци.

На фигури от 1 до 10 са показани характерни особености на видове отпечатъци, които сме получавали при дългогодишният ни опит в микроиндентацията, схематично изображение на отпечатъка и неговото сечение.

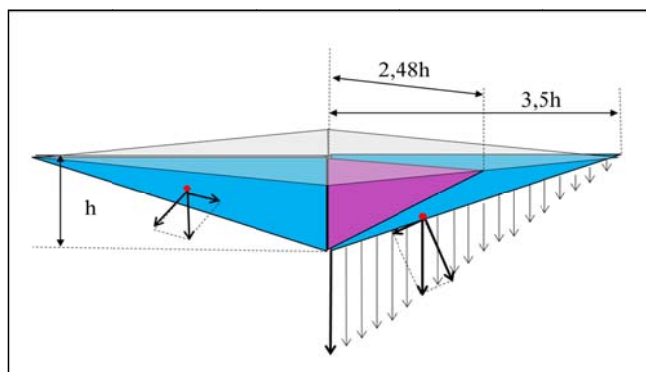
1. Идеален квадратен отпечатък с добре очертани страни и диагонали, които не се променят с времето (фиг. 1)

Възможни са два случая:

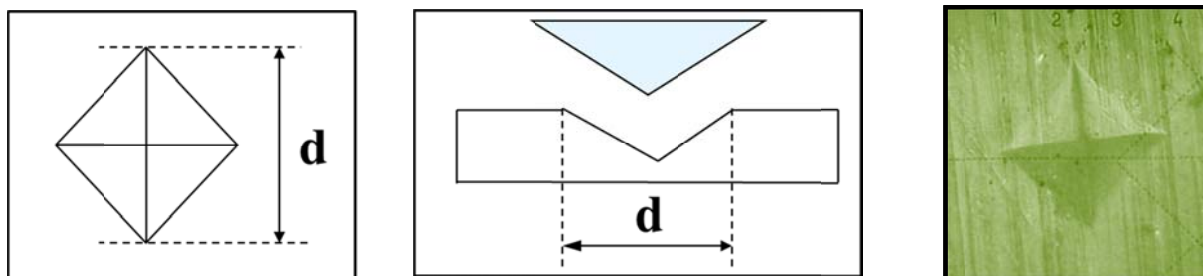
а) Отпечатък, който не се променя с времето т.е. запазва геометричната форма на пирамидалния индентор. Такъв отпечатък е характерен за пластични материали, при които еластичната и вискозноеластичната компоненти липсват или са пренебрежимо малки. Такива отпечатъци имат много от металите, термореактивните полимери или полимери, които при условията на измерване са под температурата на встъкляване T_g .

б) Отпечатък, който не се променя по отношение на размерите на страните и диагоналите, но с времето намалява неговата дълбочина. Такъв отпечатък е характерен за материали с преобладаваща пластична деформация, но еластичната и вискозноеластичната компоненти не са пренебрежимо малки. Това е поради факта, че материалът под ръбовете и върха на пирамидата е подложен на много по-голяма деформация, отколкото под стените. Тази деформация надвишава много деформацията

на границата на пластично течение, т.е. делът на пластичната компонента е много по-голям от останалите деформационни компоненти (вискозноеластична и еластична). Затова диагоналите на отпечатъка са добре очертани, независимо от еластичното и вискозноеластичното възвръщане на дъното на отпечатъка, т.е. отпечатъкът не запазва геометричната форма на пирамидалния индентор. Материалът под стените е подложен на натиск, който може да се разложи на две компоненти - по-малка на опън в посока успоредна на стената и по-голяма на натиск перпендикулярно на стената. Поради геометричното подобие и в зависимост от отстоянието от ръбовете на пирамидата съотношението между тези две компоненти ще бъде между 1:2,48 в точките до медианата на страната до 1:3,5 близо до ръбовете. Такъв тип отпечатъци са характерни за материали с по-голяма възвратима компонента на натиск, отколкото на опън.



Сложно напрегнато състояние на материала под проникващата Викерсова пирамида



Фиг. 1. Квадратен отпечатък, който не се променя с времето

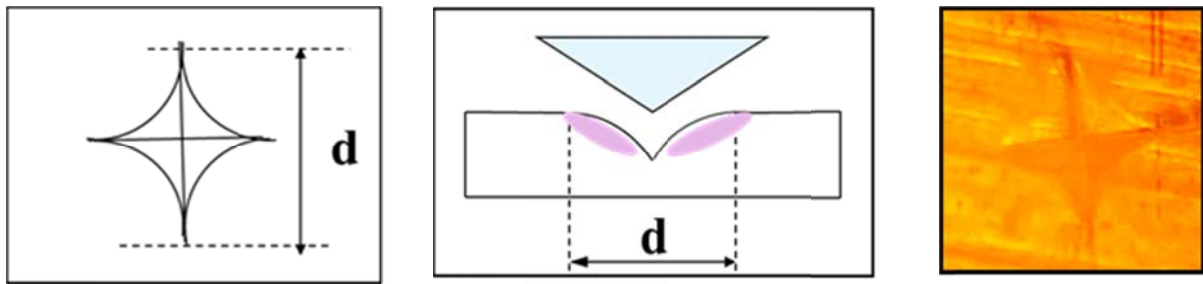
2. Отпечатък с вдлъбнати страни, който не се променя с времето

Такъв отпечатък е характерен за пластично-еластични материали. Колкото е по-изявена еластичната деформация, толкова страните на отпечатъка са по-вдлъбнати. Това е поради еластичното възвръщане не само на дъното на отпечатъка, но и на страните. Това е типичен отпечатък за повечето полимерни материали при температура над T_g . Съотношението между възвръщането на дъното на отпечатъка и степента на вдлъбване (отклонение от квадратната форма) дава ориентировъчна информация за еластичността на материала в посока, перпендикулярна на повърхността и успоредно на стените, където материалът е подложен на опън, т.е. може да се получи информация за съотношението между параметрите на натиск и опън (фиг. 2).

3. Отпечатък, при който са видими само диагоналите на отпечатъка

Такъв отпечатък дават някои каучуци при по-големи натоварвания и материали с преобладаващи еластична и вискозноеластична деформации. Има и наличие на малка пластична компонента, благодарения на която са видими диагоналите (фиг. 3).

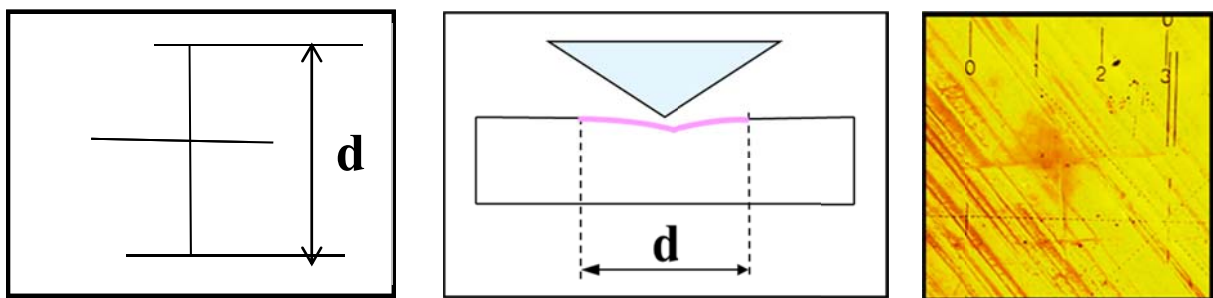
При този случай грешките от измерванията са сравнително големи. Краен случай е липсата на отпечатък. Това е типично за еластомерите, при които



стандартното

измерване на микротвърдостта по отпечатъка е практически невъзможно.

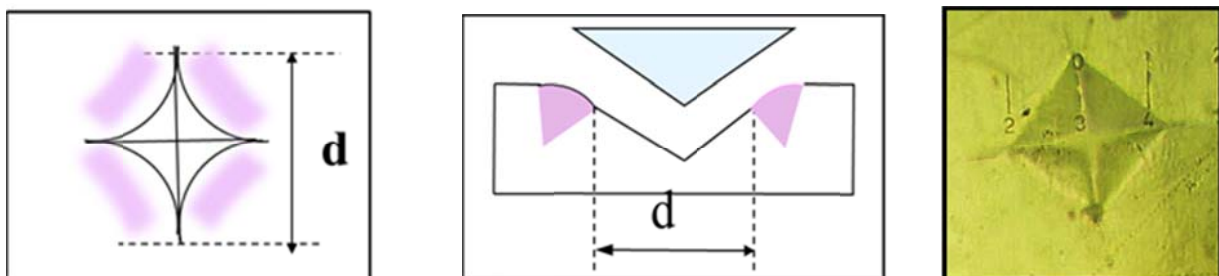
Фиг. 2. Отпечатък с вдлъбнати страни, който не се променя с времето



Фиг. 3. Отпечатък без видими страни, а само диагонали

4. Отпечатък с изразен “sink-in” ефект

Този ефект се състои в увеличаване и потъване на част от материала около индентора без да има пряк контакт с него. Това е характерно за материали със силно преобладаваща еластична компонента на деформацията. Такива материали са каучуците и много от полимерните материали с физично omрежване. При релаксация на отпечатъка, заедно с повдигане на дъното на отпечатъка, постепенно и много по-малко се повдига нивото на стените (основата) на отпечатъка, така че в крайна сметка формата на отпечатъка не запазва съотношението 1/7 (дълбочина на проникване на индентора/диагонал на отпечатъка), а това съотношение рязко пада. Скоростта на възвръщане на отпечатъка с времето е свързана с вискозноеластичната компонента (фиг. 4)

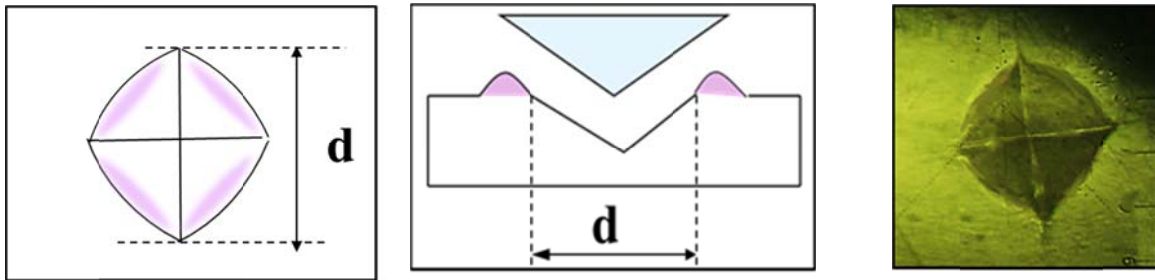


Фиг. 4. Отпечатък с изразен „sink-in” ефект

5. Отпечатък с изразен “pile-up” ефект

Този ефект се състои в изтласкване на част от материала около индентора върху повърхността, като се образува малък вал около отпечатъка. Това е характерно за материали с преобладаваща пластична компонента на деформацията и никаква склонност към свиване. При полимерите такова поведение се наблюдава много рядко

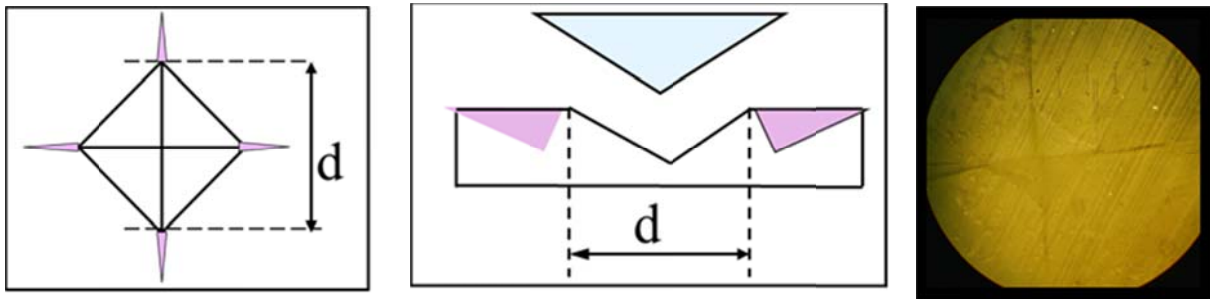
(фиг. 5). Такива материали са някои пластични меки метали. Колкото е по-голямо натоварването, толкова по-голям е този вал.



Фиг. 5. Отпечатък с изразен „pile-up” ефект

6. Добре очертан квадратен отпечатък с пукнатини във върховете

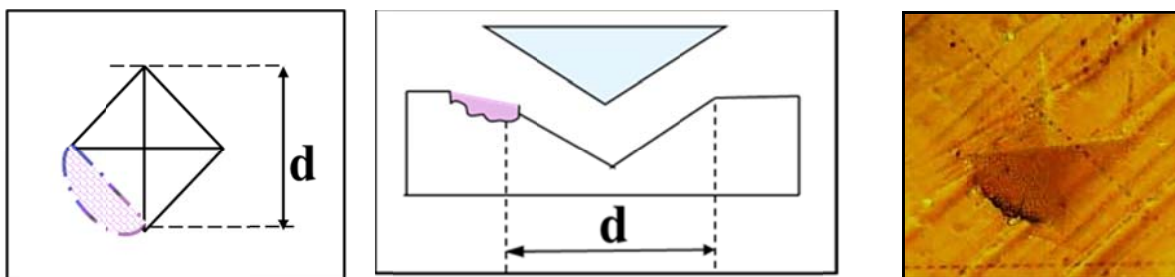
Такъв отпечатък дават крехки материали при по-големи натоварвания. Съществуват модели за теоретично пресмятане на склонността на материала към пукнатинообразуване. Такива отпечатьци са характерни за силикатни и полимерни стъкла и полимери под температурата на встъкляване T_g (фиг. 6).



Фиг. 6. Правилен квадратен отпечатък с пукнатини във върхове

7. Отпечатък с пукнатини по страните

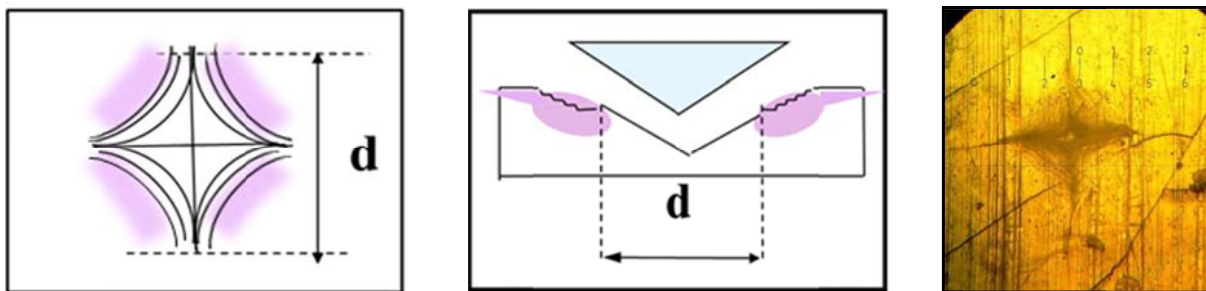
Това обикновено е характерно за образци с твърда и крехка повърхност, но с по-меки вътрешни слоеве, без изразен “sink-in” ефект. Обикновено такъв отпечатък се получава при допълнително повърхностно въздействие, предизвикващо втвърдяване.. Такива отпечатьци сме получавали при полипропилен, облъчен с малки дози γ -лъчение (фиг. 7).



Фиг. 7. Правилен квадратен отпечатък с пукнатини по страните

8. Отпечатък, около който се получават пукнатини и стъпаловидно напукване на повърхността около отпечатька (фиг. 8).

Това са образци с твърда и крехка повърхност и меки пластични вътрешни слоеве, но с изразен “sink-in” ефект. При увличане на материала около индентора, той не може да се деформира и повърхността се напуква стъпаловидно. Такива отпечатьци сме наблюдавали при γ -облъчени образци или лакови покрития, които не са напълно втвърдени в дълбочина

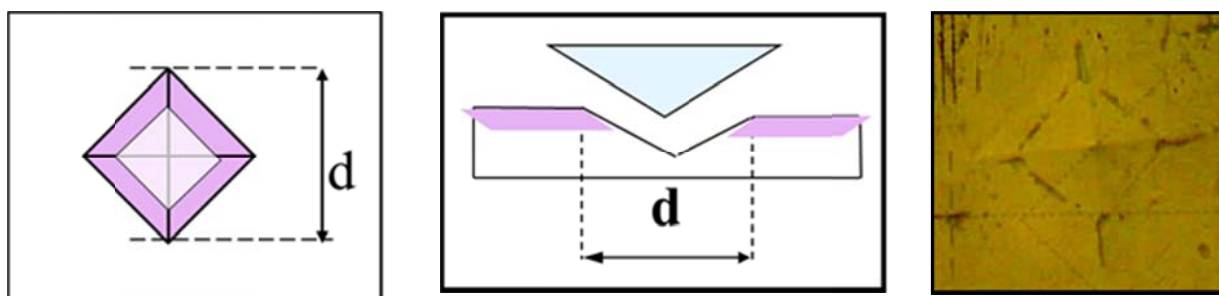


Фиг. 8. Правилен квадратен отпечатък с пукнатини по страните

9. Отпечатък, разделен хоризонтално на две или повече части

Този ефект се наблюдава когато повърхностните слоеве имат различна структура в сравнение с по-вътрешните слоеве. Може да се отчете приблизително дебелината на повърхностния слой.

Такъв тип отпечатъци сме получили изследвайки образци от поликарбонат, получен чрез фотополимеризация. При това, при еднакви условия на експеримента (еднакво натоварване) дебелината на повърхностния слой не е еднаква. Подобни отпечатъци могат да се получат при покрития и многослойни материали (фиг.9)



Фиг.9. Отпечатък, разделен хоризонтално на две части

10. Отпечатъци за материали, при които се появява течна фаза

Малките капчици, които остават в отпечатъка могат да предизвикат интерференция на светлината, както е при първата снимка на фиг. 10 а. На втората снимка е същия отпечатък, но с по-голямо увеличение (фиг. 10 б). На фиг. 10 с е показан отпечатък, при който течността се е оттеглила по ръбовете на отпечатъка поради възвръщане (издигане) на дъното на отпечатъка. Такава картина сме получавали при дълбоки отпечатъци върху образци от поликарбонат, получен при фотополимеризация. Наличието на течна фаза се дължи на остатък от неполимеризирал мономер. Подобни отпечатъци сме наблюдавали и при мембрани, набъбвали във фосфорна киселина.

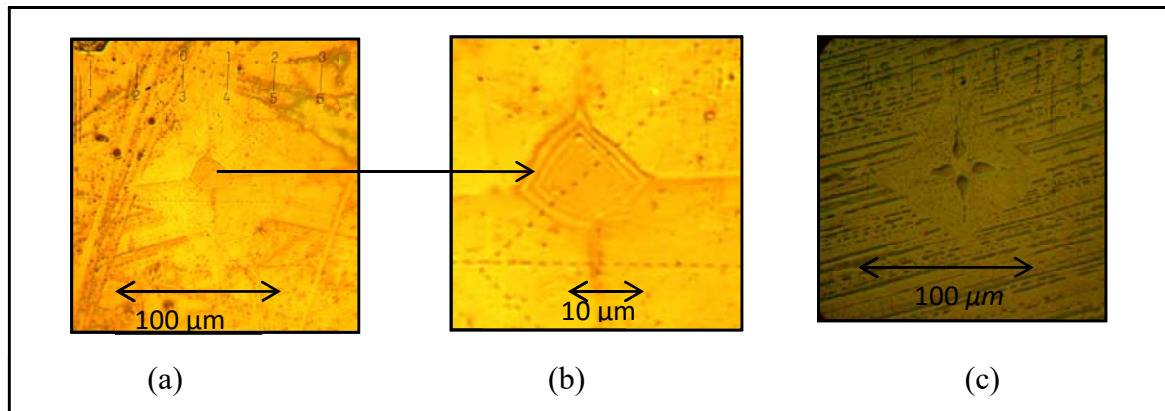
11. Отпечатъци с неправилна форма

Ако се получат отпечатъци с неправилна форма, това е индикация за неправилно проведен експеримент – повърхността на пробата не е хоризонтална или повърхността на образеца е неравна. (фиг.11).

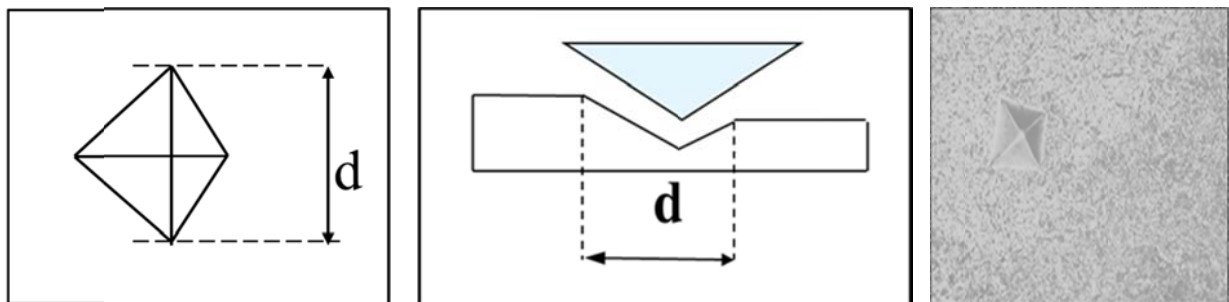
Заклучение

Направената систематизация на видовете отпечатъци от Викерсов индентор за материали с различно механично поведение дава възможност за ориентирано определяне на механичните свойства и надмолекулната структура на материала. Тя може да служи като ръководство за по-неопитните експериментатори да спестят време

и усилия при планиране на експеримента и чрез оптимизация на измерването да осигурят получаването на достоверни резултати за механичните свойства и косвено за структурните особености на изследваните обекти.



Фиг. 10. Отпечатък, съдържащ течна фаза



Фиг. 11. Отпечатък с неправилна форма

STUDY ON THE IMPRINT NATURE AND BEHAVIOUR DURING A MICROINDENTATION EXPERIMENT

Galina Zamfirova, Valentin Gaydarov
gzamfirova@mail.bg

Todor Kableshkov University of Transport
Geo Milev str. 158, 1574 Sofia,
BULGARIA

Key words: *microhardness, microindentation, mechanical properties.*

Abstract: *Many different types of imprints remaining after subtracting the Vickers pyramid as well as the changes in those imprints over time have been reviewed. The imprints give direct information about the peculiarities of the mechanical behavior of the specimens tested. The nature and the causes for arising of the so called "pile-up" and "sink-in" effects have been discussed. The tendency to cracking also could be evaluated. The article is illustrated with numerous photos made through light microscopy during our studies on some characteristic materials. It has been shown how one can draw a conclusion about the structure and mechanical characteristics of the samples only on the basis of their imprints type.*