

PACS: 81.40.Lm, 62.20.Fe

С.В. Мирошниченко

## ДИСПЕРСИЯ ТВЕРДОСТИ ЗАГОТОВКИ КАК КРИТЕРИЙ ОПТИМАЛЬНОСТИ НАКОПЛЕННОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины  
ул. Р. Люксембург, 72, г. Донецк, 83114, Украина

Статья поступила в редакцию 1 апреля 2005 года

*Для количественной оценки качества состояния материала, подвергнутого пластической деформации, выбраны критерии оценки гомогенности его механических свойств, которые дают возможность выбора оптимальных режимов деформационной обработки материала заготовки.*

Качество продукции заготовительного, в частности кузнечно-штамповочного, производства в машиностроении трактуется как совокупность свойств, обуславливающих пригодность заготовок изделий для удовлетворения определенных требований в соответствии с их назначением [1,2]. В связи с резко возросшим в последние годы интересом к проблеме повышения характеристик материала заготовок путем накопления пластических деформаций из множества свойств объектом анализа целесообразно выбрать подмножество механических свойств, оценка качества которых дает возможность судить о способности металла к противостоянию воздействию контактируемого тела или окружающей среды в процессе использования металлоизделия.

Механические свойства подмножества  $r_{4i}$  [2] характеризуются в общем случае прочностью  $r_{41}$  и пластичностью  $r_{42}$  материала. По методам испытаний прочность определяется твердостью HV, пределом текучести  $\sigma_{\text{yield}}$ , пределом прочности  $\sigma_b$ , а пластичность – удлинением  $\delta$ , относительным сужением  $\psi$  и ударной вязкостью KCU. Известно, что показатели HV,  $\sigma_{\text{yield}}$ ,  $\sigma_b$  обычно являются между собой линейно-зависимыми, поэтому на первом этапе в подмножество  $r_{4i}$  достаточно включить лишь твердость и относительное сужение.

Одним из весомых показателей происшедшего изменения механических свойств металла, подвергнутого пластической деформации в холодном состоянии, является изменение его твердости (наклеп). На основании зависимости между твердостью и интенсивностью напряжений и деформаций все более широкое применение находит метод определения степени деформации

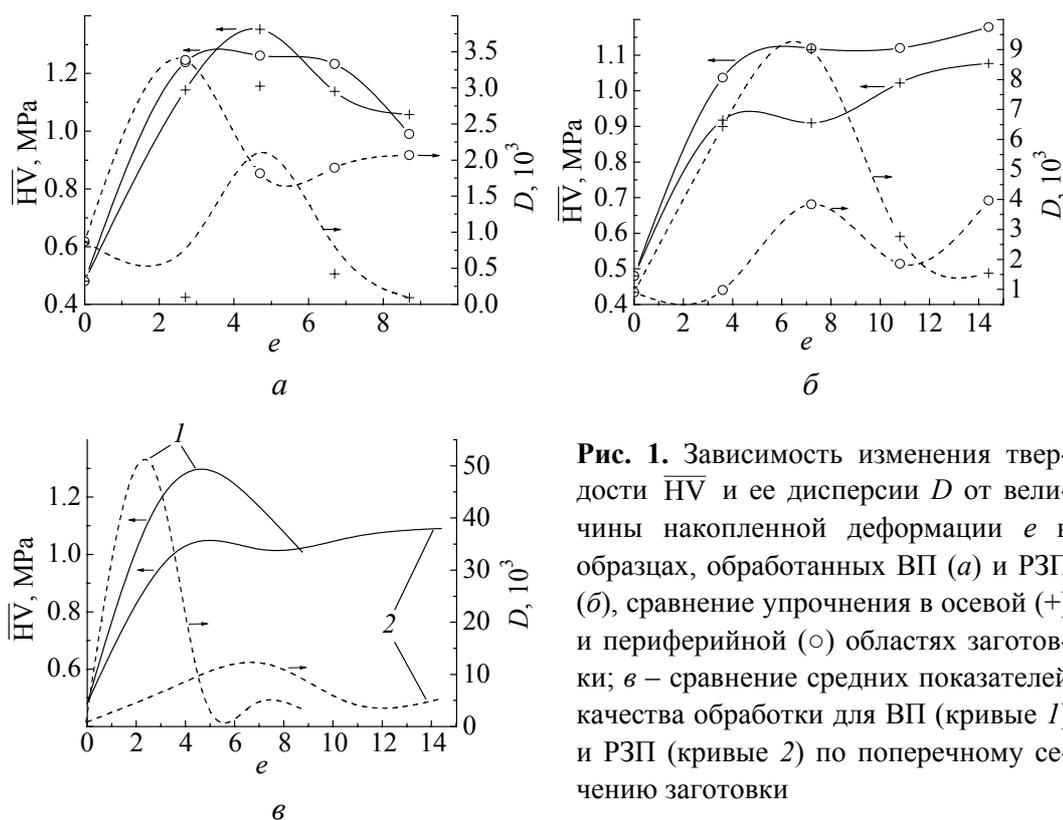
и интенсивности напряженного состояния в пластической области деформируемого тела испытанием твердости [3,4]. Однако при исследовании процессов разрушения материалов вследствие накопления повреждений сама характеристика твердости слабо чувствительна к изменениям поврежденности материала. Наиболее представительными в отношении оценки состояния структуры материала следует считать не абсолютные значения его твердости, а характеристики рассеяния абсолютных значений результатов измерений, выполненных на одинаковых образцах в идентичных условиях [5].

Для получения характеристик рассеяния результатов изменения твердости при накоплении пластических деформаций важно определить, как статистически распределено это свойство. В механике материалов чаще всего используются два распределения: Вейбула [6] и нормальное [7]. По-видимому, каждое из них наиболее адекватно описывает определенную группу материалов в определенной стадии процесса поврежденности. Для анализа технологий выдавливания нами принято нормальное распределение, что подтверждено проверкой принадлежности экспериментальных выборок к соответствующей генеральной совокупности с помощью непараметрического критерия  $\chi^2$ , а для оценки гомогенности твердости материала в отдельных зонах и характеристики ее по объему заготовки – среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации [8]. Такие статистические характеристики твердости дают возможность проследить за изменением структурного состояния материала при различных степенях разовой и накопленной деформаций, а также в зависимости от условий эксплуатации изделия выбирать схему технологического процесса и режимы его отдельных операций. Для иллюстрации сказанного на рис. 1 дана зависимость изменения твердости  $\overline{HV}$  и ее дисперсии в процессе выдавливания заготовок винтовым пресованием (ВП) и реверсивной закрытой прошивкой (РЗП) [8,9]. Особый интерес вызывает сравнение характеристик упрочнения в осевых и периферийных зонах заготовок, обработанных ВП (рис. 1,а) и РЗП (рис. 1,б). Максимальный уровень упрочнения при ВП зафиксирован на оси заготовки, в то время как при РЗП – в периферийной области.

При обработке РЗП отмечены максимальные дисперсии твердости в осевой области заготовки  $D \approx 9000$  ( $e = 7.2$ ) с постепенным снижением до  $D = 1550$  ( $e = 14.4$ ), а при ВП –  $D = 3025$  ( $e = 4.5$ ) с уменьшением до  $D = 100$  ( $e = 8.5$ ).

Достаточно высокие значения рассеяния твердости  $D = 1800-3900$  ( $e = 7.2-14.5$ ) наблюдались на периферийных зонах заготовок, обработанных РЗП. Такой характер рассеяния твердости в различных зонах поперечного сечения заготовки объясняется двумя причинами: активной деформацией периферии и застойными зонами у оси, снижающими накопленную деформацию. Это подтверждается и относительно низким наклепом в схеме РЗП по сравнению с ВП.

При оценке рассеяния твердости по поперечному сечению заготовки в целом (рис. 1,в) можно выделить три стадии накопления деформации.



**Рис. 1.** Зависимость изменения твердости  $\overline{HV}$  и ее дисперсии  $D$  от величины накопленной деформации  $e$  в образцах, обработанных ВП (*a*) и РЗП (*б*), сравнение упрочнения в осевой (+) и периферийной ( $\circ$ ) областях заготовки; *в* – сравнение средних показателей качества обработки для ВП (кривые 1) и РЗП (кривые 2) по поперечному сечению заготовки

1-я стадия ( $e \leq 5$ ) характеризуется интенсивным ростом наклепа ( $\Delta HV_1/HV_0 \approx 0.5-0.7$ ) и его рассеяния ( $D_1/D_0 \approx 10-50$ ) для обеих схем выдавливания. Однако при обработке ВП к концу этой стадии рассеяние твердости резко снижается, а при РЗП – продолжает расти, что связано, по-видимому, с наличием упругих зон на опорном торце заготовки.

На 2-й стадии выдавливания ( $e = 5-7.5$ ) отмечается деградация твердости образцов, полученных ВП, и стабильный уровень HV в образцах, обработанных РЗП при достаточно высоком уровне дисперсии.

3-я стадия ( $e > 7.5$ ) соответствует нарастанию процесса деградации твердости при ВП, но ее дисперсия остается на уровне исходной заготовки. При обработке РЗП твердость остается стабильной до  $e = 14.5$  при стабилизации рассеяния на уровне, соответствующем ВП. Статистическая значимость деградации твердости в ВП подтверждается значением доверительных интервалов, которые после второго и третьего циклов соответственно равны 37.3 и 36.4 МПа. При обработке РЗП характер приращения наклепа монотонный во всей исследованной области деформации до значения ее накопления  $P = 14.4$  (доверительные интервалы после 4, 6 и 8-го циклов соответственно 24.3; 15.5 и 21.1 МПа), а коэффициент вариации остается на достаточно низком уровне (0.067).

Твердость по Виккерсу, измеренная на обоих торцах медной заготовки диаметром и высотой 30 мм, прошедшей обработку многоциклового РЗП при максимальном нормальном осевом напряжении на пуансоне  $\sigma_z = 2.1$  ГПа

и противодействию 400 МПа [5], сравнивается с твердостью образцов, вырезанных из медных прессовок с поперечным сечением  $14 \times 14$  мм, длиной 100 мм, после обработки ВП при давлении на пуансоне  $\sigma_z = 1.2$  ГПа и противодействию 0.3 ГПа [6].

### Выводы

В качестве критерия оптимальности величины накопленной пластической деформации материала заготовки целесообразно выбрать максимальное значение твердости при ее минимальном рассеянии.

1. Б.В. Бойцов, Ю.В. Крянев, М.А. Кузнецов, КШП № 12, 2 (1997).
2. Б.А. Мигачев, В.П. Волков, КШП № 12, 18 (1997).
3. Г.Д. Дель, Изв. АН СССР, Металлы № 4, 97 (1967).
4. Г.А. Смирнов-Аляев, В.П. Чикидовский, Экспериментальные исследования в обработке металлов давлением, Машиностроение, Ленинград (1972).
5. А.А. Лебедев, Н.Р. Музыка, Н.Л. Волчек, Проблемы прочности № 4, 5 (2002).
6. W. Weibull, J. Appl. Mech. **18**, 293 (1951).
7. Р. Шторм, Теория вероятностей, математическая статистика, статистический контроль качества, Мир, Москва (1959).
8. С.В. Мирошниченко, В.Г. Сынков, С.Г. Сынков, в сб.: Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні (2002), с. 199.
9. Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин, В.Г. Сынков, С.Г. Сынков, ФТВД **10**, № 1, 24 (2000).

S.V. Miroshnichenko

### DISPERSION OF BILLET HARDNESS AS A CRITERION OF OPTIMALITY FOR ACCUMULATED STRAIN

The estimation criteria of homogeneity of material mechanical properties have been chosen to define quantitatively the quality of a material after severe plastic deformation. These criteria make it possible to choose the optimum conditions of deformation treatment of material.

**Fig. 1.** Influence of alteration of hardness HV and dispersion  $D$  on accumulated deformation rate  $e$  in billets machined by twist extrusion (TE) ( $a$ ) and reversible closed broaching (RCB) ( $b$ ) methods, comparison of the hardness at axial (+) and peripheral ( $\circ$ ) zones of specimen;  $\sigma$  – comparison of average quality criteria after TE (curve 1) and RCB (curve 2) deformation measured on the cross-section of billet