

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСАДКИ  
СТАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ  
С ИЗМЕНЕНИЕМ ЖЕСТКОСТИ ИНСТРУМЕНТА ДЕФОРМАЦИИ**

**С. А. Машеков, д.т.н., Г. Г. Курапов, к.х.н.,  
У. К. Какимов, к.т.н., Н. А. Бажаев**

Казахский национальный технический университет  
им. К. И. Сатпаева

---

Металдарды қысыммен басу металдардың деформациясы мен құрылымдық өзгерістерін зерттеудің негізгі әдістерінің бірі болып табылады. Қ.И. Сәтбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық университетінің металдарды қысыммен өңдеу зертханасында бірнеше зерттеулер жүргізілді. Олардың негізі болаттан жасалған цилиндрлік үлгілерге деформация құралдарының қатаңдығының әсерін зерттеу.  
**Түйінді сөздер:** құралдың қаттылығы, деформация, тұну.

Deposit is one of the basic methods of research of deformation and structural changes of metals [1-4]. The research was conducted in the laboratories of processing of metals pressure of the Kazakh national technical university named after K.I.Satpaev, where series of experiments connected with research on influence of rigidity of the deforming tool on steel cylindrical samples was run.

**Key words:** rigidity of the tool, deformation, a deposit.

Осадка является одним из основных методов исследования деформации и структурных изменений металлов [1-4]. На базе Казахского национального технического университета им. К.И. Сатпаева в лаборатории обработки металлов давлением была проведена серия экспериментов, связанных с исследованием влияния жесткости деформирующего инструмента на стальные цилиндрические образцы.

Исследования проводили на образцах, изготовленных из прутковой ст. 20 диаметром 14 мм и высотой 28 мм. Перед проведением экс-

периментов образцы отожгли в муфельной печи в течение 4 ч при температуре 650 °С. Затем торцевые поверхности образцов зачистили на шлифовальной бумаге. Плиты, через которые проводили деформирование образцов, имели 9 класс чистоты поверхности.

В одинаковых условиях деформировали по 3 образца. Затем под стальную пластину, на которой была установлена месдоза, подложили такую же по размерам пластину из текстолита толщиной 15 мм и повторили осадку еще 3-х образцов. Следующую партию образцов деформировали после замены пластины из текстолита пластиной из резины.

Расчеты показывали, что высотная деформация образцов находилась в пределах 40,4-40,7 %. При этом результаты измерений свидетельствуют о том, что размеры и форма образцов после деформации идентичны, визуально неразличимы.

Таким образом, изменение жесткости инструмента со стороны подвижной плиты, при неизменных условиях контакта на поверхностях между деформируемым образцом и инструментом, при отсутствии видимых изменений в конфигурации деформируемых образцов, вызывает значительные изменения усилия деформирования. Установка текстолитовой прокладки способствует увеличению усилия на 13,9 %, а установка резины – на 90,9 %, т. е. практически в 2 раза.

Для определения причины такого изменения усилия деформирования образцы были разрезаны поперек по высоте, были изготовлены шлифы, проверена микротвердость по сечению образцов и получены микрофотографии. Измерения микротвердости проводили в разных зонах сечения:

- центральная часть образцов – в области максимальной пластической деформации;
- периферийная область – вблизи поверхности максимального изгиба бочки;
- области затрудненной деформации – вблизи поверхностей касания деформируемого образца с плитами инструмента [1-4].

Из анализа полученных данных следует, что в области максимальной деформации микротвердость стальных образцов практически не изменяется. В периферийной зоне 2 микротвердость несколько ниже, чем в зоне 1. Кроме того, имеет место небольшая тенденция к уменьшению значения микротвердости по мере снижения жесткости инструмента.

Наибольшие изменения твердости наблюдаются в приконтактных зонах 3. Причем это происходит по-разному на верхней и на нижней поверхности. Если установка резиновой прокладки вблизи верхней поверхности образца приводит к увеличению микротвердости на 9,2 %, то на нижней – на 23,4 %.

На рис. 1 приведены макрофотографии стальных образцов, продеформированных различными прокладками. Для всех образцов характерно выделение с отличной от всего остального материала травимостью в областях контакта с деформирующим инструментом.

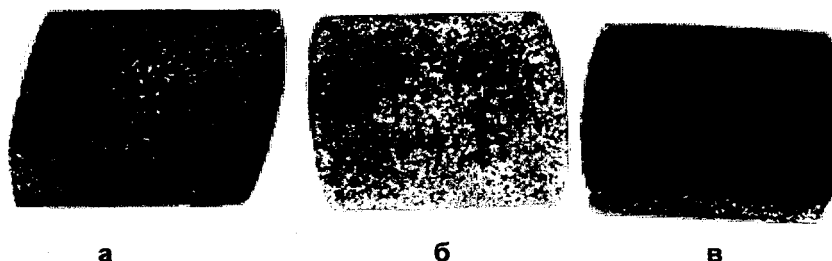


Рис. 1. Макроструктура сечения стальных образцов, деформированных различными прокладками под нижней плитой: а) без прокладок; б) с текстолитовой прокладкой под нижней плитой; в) с резиновой прокладкой под нижней плитой

Эти области наиболее четко видны на образце рис. 1а, которые широко описаны в литературе в качестве зон затрудненной деформации, называемых конусами скольжения. Однако границы этих областей не смыкаются, не образуют углов в  $45^\circ$ , как описывается во многих источниках.

Введение более мягких прокладок под нижнюю плиту изменяет картину макротравления. При использовании прокладки из текстолита (рис. 1б) картина становится размытой. Однако конус скольжения имеет примерно такой же размер.

Использование резиновой прокладки (рис. 1г) значительно меняет расположение зон. При ее применении сложно исключить внецентренное приложение нагрузки, которое приводит к несимметричной деформации. Области, аналогичные конусам скольжения, преобразуются в

зоны, сдвинутые к острым углам. Зона деформации проявляется в виде полосы, расположенной между зонами затрудненной деформации.

Ст. 20 является двухфазной системой, состоящей из зерен феррита с ОЦК решеткой и колоний перлита, которые служат механической смесью феррита и цементита. При осадке на прессе без прокладок под плиты зона затрудненной деформации (конус скольжения) образована поликристаллическими равноосными зёрнами феррита (рис. 2а). Вблизи со стенками бочки сформировалась более мелкокристаллическая полиэдрическая структура с вытянутой формой зерен феррита, ориентированная перпендикулярно стенкам (рис. 2б). Цементитные колонии в этих областях не претерпевают каких-либо изменений и располагаются по границам зерен. В ядре деформации образуется наиболее мелкозернистая структура с сильно вытянутой формой зерна феррита. Цементитные колонии в этих областях дробятся, но деформируются намного менее интенсивно (рис. 2в, г). Указанные области по структуре имеют довольно четкое различие.

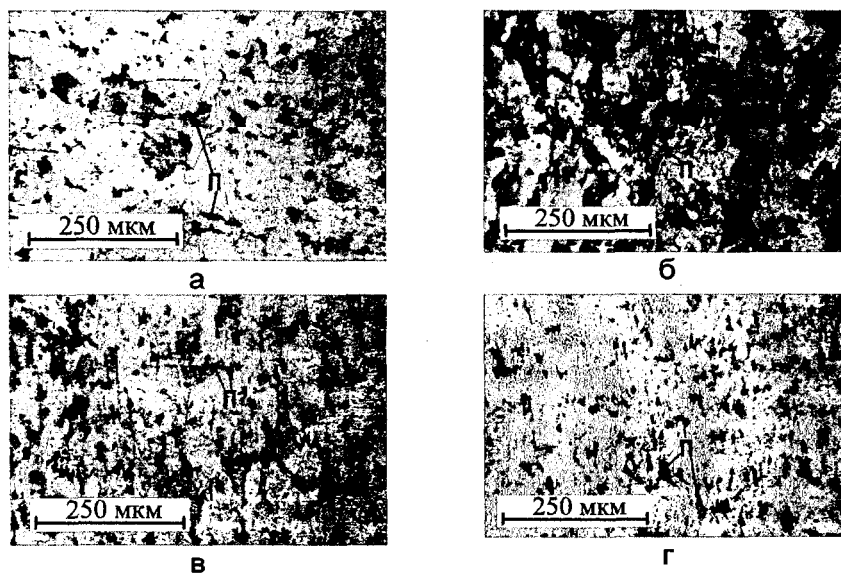


Рис. 2. Микроструктура цилиндра из ст. 20, подвергнутого одноосному сжатию на прессе без прокладки под нижнюю плиту: а) верхняя часть бочки; б) крайняя часть бочки; в), г) – центральная часть бочки

При осадке образца на прессе с текстолитовой прокладкой под нижней плитой структура, формирующаяся по сечению стального цилиндра, аналогична наблюдаемой при деформации без прокладки (рис. 3а). В зоне ядра деформации зерна на 20-30 % более крупные, чем при деформации без прокладки.

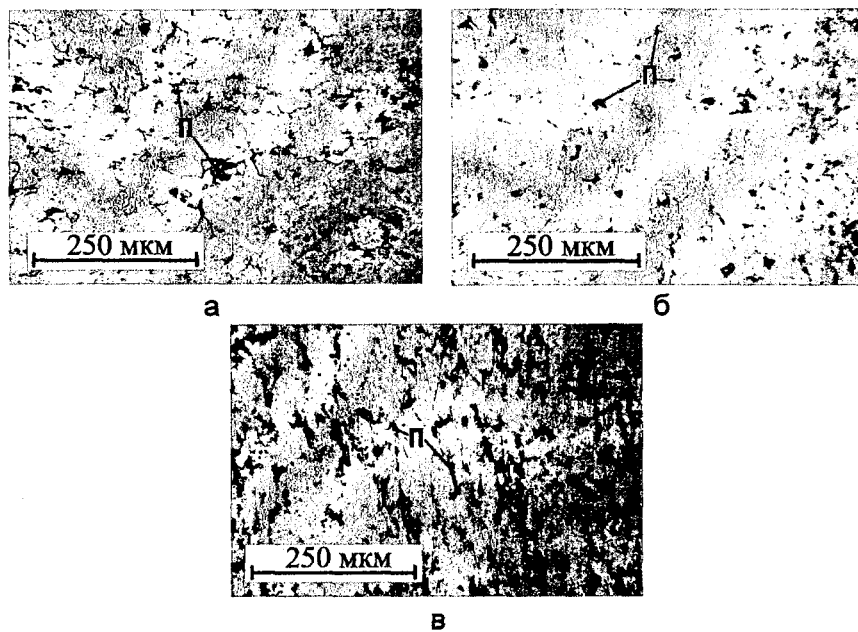


Рис. 3. Микроструктура цилиндра из ст. 20, подвергнутого одноосному сжатию на прессе с прокладкой из текстолита под нижнюю плиту: а) верхняя часть бочки; б) крайняя часть бочки; в) центральная часть бочки

При деформации образца на прессе с резиновой прокладкой под нижней плитой помимо одноосного сжатия произошел сдвиг (рис. 4в). Проведенные исследования структуры показали, что как и в случае с медными образцами, структура в конусе деформации изменилась незначительно в сравнении с исходным отожженным состоянием (рис. 4а). Вблизи со стенками бочки образца образовалась более мелкозернистая структура с вытянутыми зернами, ориентированными перпендикулярно к стенкам бочки (рис. 4б).

В ядре деформации структура претерпела значительные изменения, связанные с измельчением зерен феррита и их существенным вытягиванием в направлении, перпендикулярном вектору нагрузки (рис. 4в). Ядро деформации вытянулось вдоль меньшей диагонали бочки образца. Наибольшие изменения в структуре в ядре деформа-

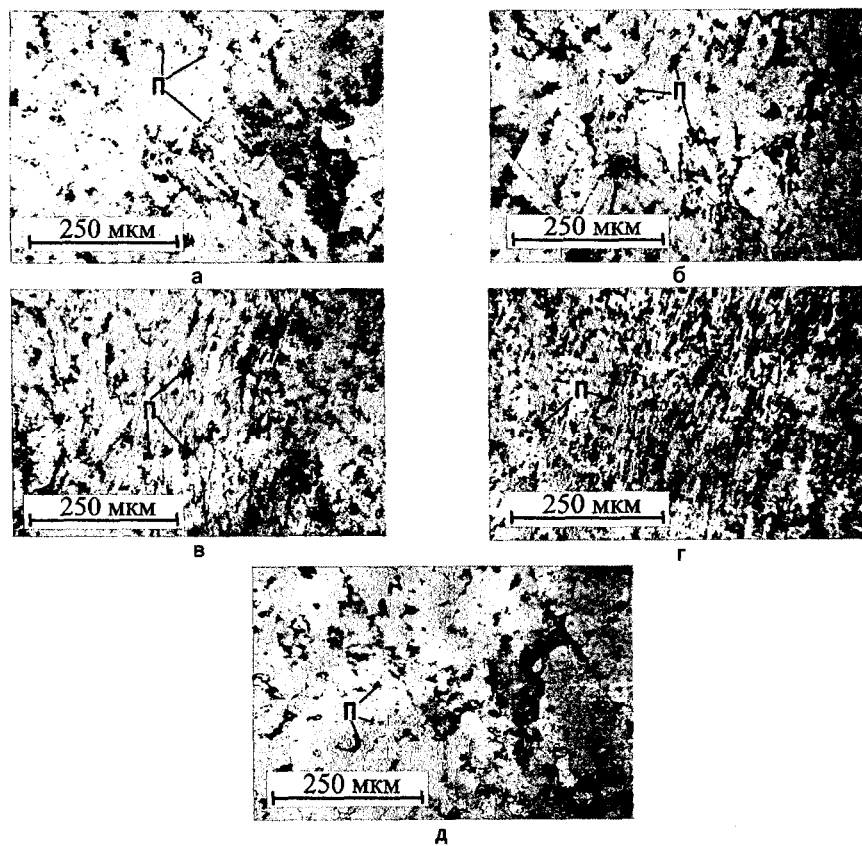


Рис. 4. Микроструктура цилиндра из ст. 20, подвергнутого одноосному сжатию на прессе с прокладкой под нижнюю плиту: а) верхняя часть бочки; б) крайняя часть бочки; в) центральная часть бочки; г) тупой угол бочки, д) острый угол бочки

ции отмечаются вблизи сечения с тупыми углами образца (рис. 4г). В области острого угла деформация практически отсутствовала (рис. 4д).

Научная новизна работы заключается в том, что впервые получены данные об изменении прочностных свойств при осадке стальных образцов в зависимости от жесткости системы «образец – инструмент – деформирующая машина».

Анализ рассматриваемых микрофотографий позволяет сделать следующее заключение:

*Центральная часть образца:* у всех образцов зерна феррита вытянуты в плоскости, перпендикулярной вектору нагрузки на образец. В образцах при деформации с подкладкой из стали и текстолита в этой области произошло измельчение перлитных колоний, но форма цементитных включений сохраняется сферической. В образце при деформации с подкладкой из резины в области максимальной деформации обнаруживается пластинчатый перлит (рис. 4г), что указывает на образование в ходе деформации аустенита с последующим его распадом (вероятно, по ретроградному типу) на пластинчатый перлит после прекращения деформации за счет изменения температуры и снятия остаточных напряжений.

*Периферийная область образца вблизи поверхности максимального изгиба бочки:* у всех образцов зерна феррита и перлита деформируется в меньшей степени, следов фазовых превращений не обнаружено.

*Верхняя часть образца (бочки) после осадки:* у всех образцов характер структуры, свойственный отожженным недеформированным сталям с крупными зернами феррита и колониями зернистого (сфероидального) перлита.

## Литература

1. Губкин С. И. Пластическая деформация металлов. – М.: Металлургиздат, 1960. – Т. 1-3. – 1050 с.
2. Пресняков А. А. Локализация пластической деформации. – Алма-Ата: Наука, 1981. – 120 с.

3. Панин В. Е., Гриняев Ю. В., Данилов В. И. и др. Структурные уровни пластической деформации и разрушения. – Новосибирск: Наука, 1990. – 255 с.

4. Давильбеков Н. Х., Курапов Г. Г., Какимов У. К., Бортебаев С. А. Снижение динамических нагрузок прокатных станов // Вестник КазНТУ. – 2006. – № 5. – С. 59-65.