

НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ

УДК 621.7.011:621.789

Чукин М.В., Валиев Р.З., Рааб Г.И., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ СТРУКТУРЫ НАНОСТАЛЕЙ 20 И 45 ПРИ КРИТИЧЕСКИХ СТЕПЕНЯХ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ*

Одним из важнейших видов металлоизделий является стальная проволока, широко используемая как конструктивный элемент при производстве канатов и биметаллической сталемедной продукции (проволоки и неизолированных проводов). Основными показателями качества указанных металлоконструкций являются их надежность и долговечность, которые преимущественно определяются свойствами стальной проволоки.

Достижение высокого качества и эксплуатационной надежности металлоконструкций и устойчивого уровня рыночной конкурентоспособности возможно лишь на основе новых наукоемких технологий получения материалов с новым уникальным комплексом свойств. Таковыми в настоящее время являются технологии, позволяющие получать ультрадисперсные и наноструктуры. Одним из наиболее перспективных подходов к получению таких структур в различных металлах и сплавах является применение методов интенсивной пластической деформации (ИПД), в особенности равноканального углового прессования (РКУП) и его модернизаций, позволяющих получать наноструктуры во всем объеме изделия.

Разработка технологических процессов получения проволоки для производства канатов и биметаллической сталемедной продукции невозможно без детального рассмотрения и глубокого исследования эволюции наноструктурных изменений в сталях в процессах интенсивной пластической деформации (ИПД). Задачей настоящих исследований является выявление основных закономерностей изменения структуры и свойств низко- и среднеуглеродистых марок сталей при критических степенях деформации.

При проведении исследований были использованы образцы, отобранные от образцов калиброванного проката из сталей марок 20 и 45 диаметром 20 мм, при этом выбор диаметра заготовки осуществлялся из технологических возможностей оборудования для равноканального углового прессования (РКУП). Процесс наноструктурирования реализовывали в условиях Института перспективных материалов ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

Испытания на сжатие проводились на кулачковом пластометре. Профилированный кулачок пластометра моделирует во времени закон нагружения образца. Пластометрические исследования проводили при температуре 20°C на цилиндрических образцах с исходными диаметрами $d_0=6$ мм и высотой $h_0=9$ мм. Образцы для испытаний изготавливали из центральных областей осесимметричных заготовок их токарной обработкой. Для достижения однородного напряженно-деформированного состояния в процессе осадки использовали полировку и смазку контактных поверхностей.

Характер структуры, формирующейся в образцах нетермообработанной стали 20 после испытания на пластометре, представлен на **рис. 1, 2**. Микроанализ свидетельствует, что и в поперечном, и в продольном сечениях наблюдаются структурно неоднородные зоны, границы между которыми наблюдаются достаточно четко.

В поперечном сечении в области максимальной деформации вблизи поверхности и ферритные, и перлитные зерна ориентированы практически параллельно поверхности (или под небольшим углом к ней) (**рис. 1, а**). По мере удаления от поверхности происходит постепенная переориентация перлитных зерен: наблюдается зона, где они ориентированы практически перпендикулярно поверхности (**рис. 1, б**). Ферритные зерна в этой зоне ориентированы в большинстве случаев так же, как в поверхностном слое. И, на-

* Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы» по направлению «Конструкционные стали с ультрадисперсной и наноструктурой, методы их получения и обработки» (контракт № 02.513.11.3196).

конец, ближе к центру появляется еще одна зона (рис. 1, в), микроструктура в которой идентична структуре в центре исходного образца.

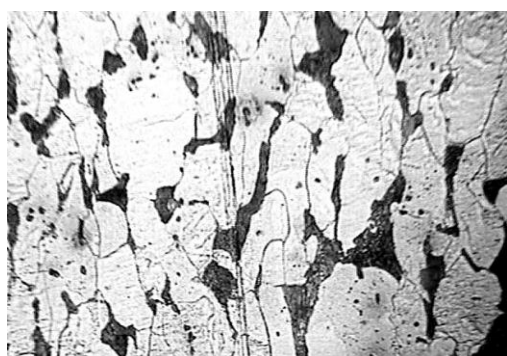
Неоднородность структуры в продольном сечении выражена еще в большей степени. При этом четко обнаруживается, что в центральной области поперечного сечения формируется волокнистая структура (рис. 2, б, в), ориентированная под небольшим углом (практически параллельно) к плоской поверхности цилиндрического образца.

Изменение структуры стали 45 без термообработки после испытаний на пластометре носит аналогичный характер (рис. 3). При этом наблюдается

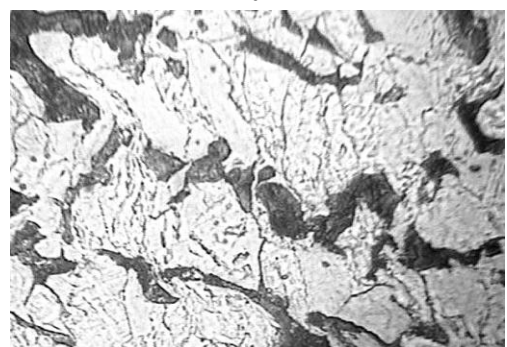
значительная неоднородность в центральных (рис. 3, а, г) и периферийных участках (рис. 3, б, в).

Структурные изменения стали 20 после испытания на пластометре образцов после улучшения и РКУП представлены на рис. 4.

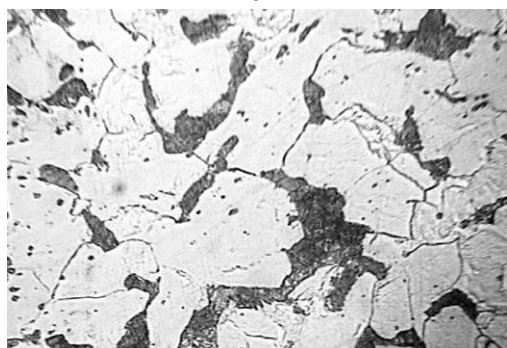
Микроанализ показывает, что в этом случае также формируются структурно различные зоны. Однако, в отличие от нетермообработанного образца, структурная неоднородность выражена в меньшей степени. Отсутствует, в частности, «переориентировка» перлитных участков, происходит их вытягивание в направлении действия напряжения растяжения. Основное различие связано



а

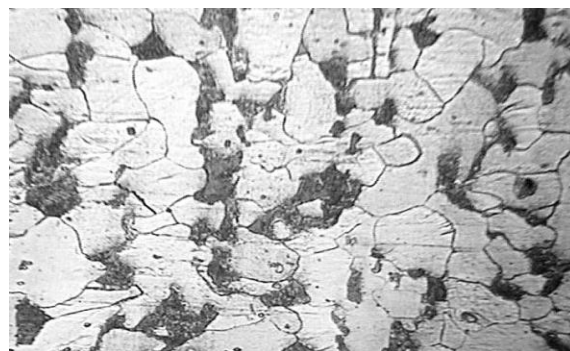


б



в

Рис. 1. Изменение микроструктуры нетермообработанного образца из стали 20 после испытания на пластометре в поперечном направлении от поверхности (а) к центру (в), $\times 400$



а



б



в

Рис. 2. Изменение микроструктуры нетермообработанного образца из стали 20 после испытания на пластометре в продольном направлении: а – вблизи поверхности; б, в – в центральной области, $\times 400$

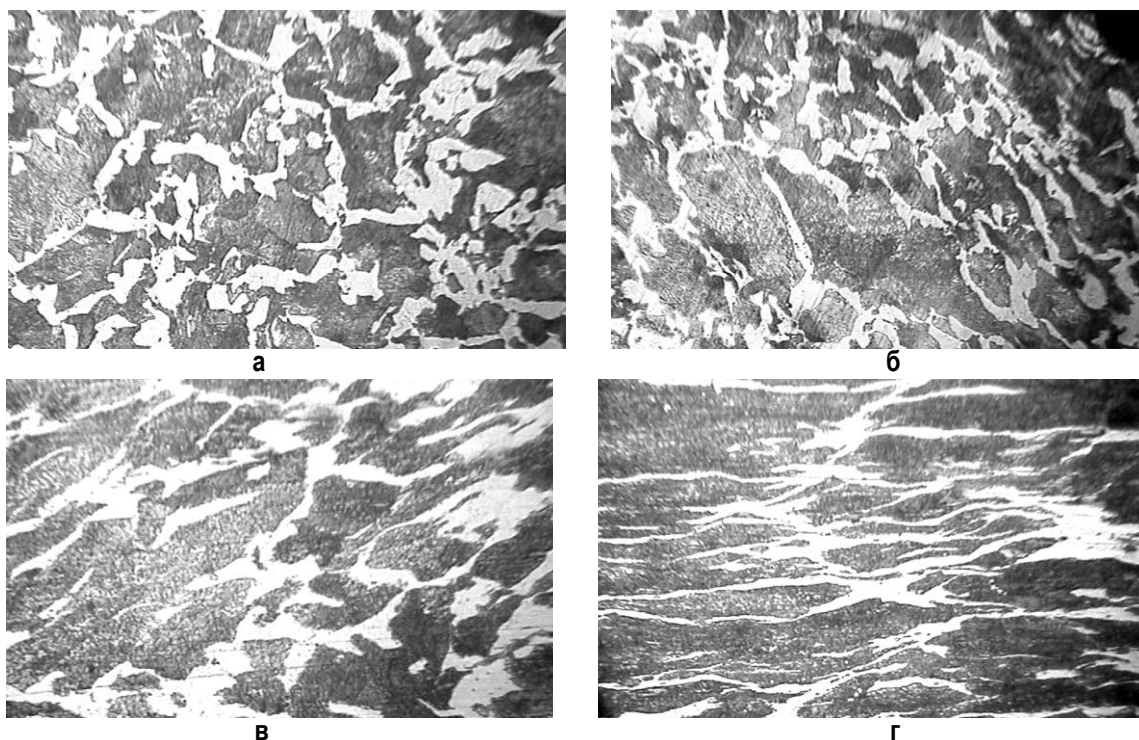


Рис. 3. Изменение микроструктуры нетермообработанного образца из стали 45 после испытания на пластометре в поперечном (а, б) и продольном (в, г) сечении, $\times 1000$

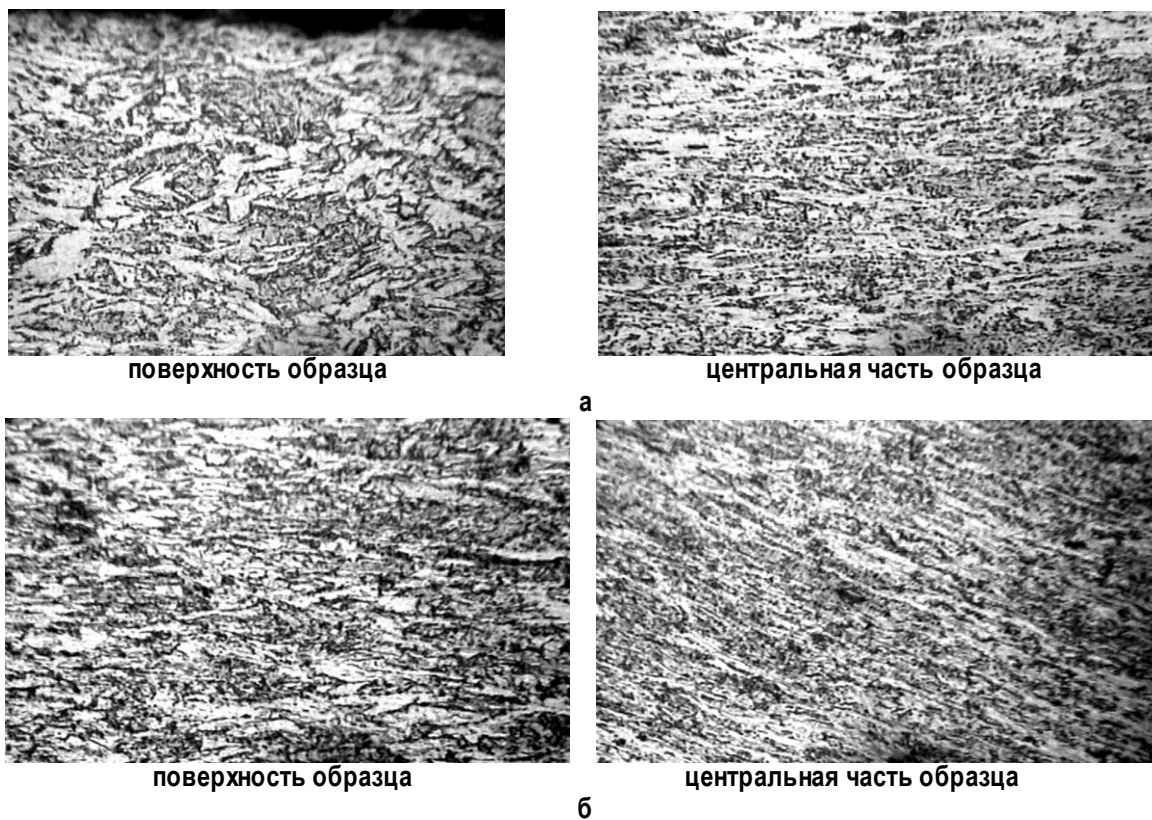


Рис. 4. Изменение микроструктуры в продольном сечении образцов из стали 20 после улучшения и РКП после деформации на пластометре, $\times 1000$:
а – степень деформации 74,0%, скорость деформации $3,876 \text{ с}^{-1}$;
б – степень деформации 75,7%, скорость деформации $12,28 \text{ с}^{-1}$

с вышеописанными различиями структуры в зоне прокаливаемости и вне ее, которые наблюдаются и в образцах после испытания на пластометре: там, где произошла закалка, сформировалась структура типа сорбита отпуска, а вне ее – бейнитная или бейнито-ферритная.

По мере увеличения степени деформации от 74,0 до 77,7% (или скорости деформации от 3,876 до 12,29 с⁻¹) структура становится более однородной и более четко становится выраженным ее волокнистое строение. При больших скоростях деформации волокнистая структура формируется практически по всему сечению (рис. 5). Однако дальнейшее увеличение степени (скорости) деформации приводит к возникновению трещин и разрушению образцов.

Твердость стали 20 после испытания на пластометре представлена на рис. 6. Анализ полученных результатов свидетельствует, что после ИПД методом РКУП наблюдается более равномерное распределение твердости по сечению прутка как в нетермообработанном состоянии, так и в закаленном и улучшенном состояниях. При этом степень (скорость) деформации на пластометре не влияет существенно на прирост



а



б

Рис. 5. Микроструктура поверхностных слоев в центре (а) и в периферийной области (б) продольного сечения образца из стали 20 после улучшения и РКУП, х 1000. Степень деформации 75,2,0%, скорость деформации 11,918 с⁻¹

твердости, хотя и увеличивает ее по сравнению с состоянием после РКУП.

Микроанализ стали 45, подвергнутой улучшению и РКУП, показал, что при пластометрических испытаниях формируется более однородная структура как в поперечном, так и в продольном сечениях (рис. 7).

На продольных шлифах очень хорошо проявляется волокнистое строение металла.

Средняя твердость HV₂₀₀, измеренная вдавливанием алмазной пирамиды, составляет в продольном сечении 3635 МПа (3976 МПа – в центре и 3294 МПа – у поверхности), а в поперечном – 3267 МПа (3529 МПа – в центре и 2941 МПа – у поверхности).

Анализ полученных результатов свидетельствует, что после ИПД методом РКУП наблюдается более равномерное распределение твердости по сечению прутков из стали 20 и 45 как в не термообработанном состоянии, так и в закаленном и улучшенном.

Импликация методов объемного наноструктурирования сталей с процессами и технологиями производства проволоки и биметаллической сталемедной продукции и проектирование технологий стадийной деформационной обработки определяется полученными новыми научными знаниями об эволюции структуры сталей в процессах ИПД и после приложения критических степеней деформации при проведении пластометрических исследований. Полученные данные позволяют не только проектировать процессы деформирования (калибрования и волочения) для получения из наноструктурных заготовок проволоки, но и прогнозировать свойства готовой продукции.

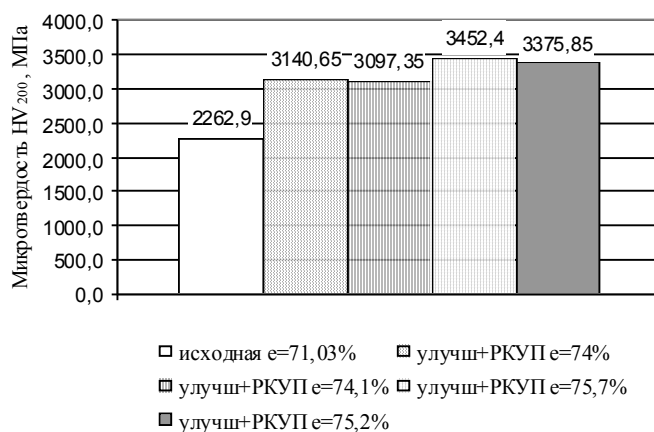


Рис. 6. Микротвердость стали 20 после различных видов обработки (твердость после испытания на пластометре приведена для образцов после улучшения и РКУП)

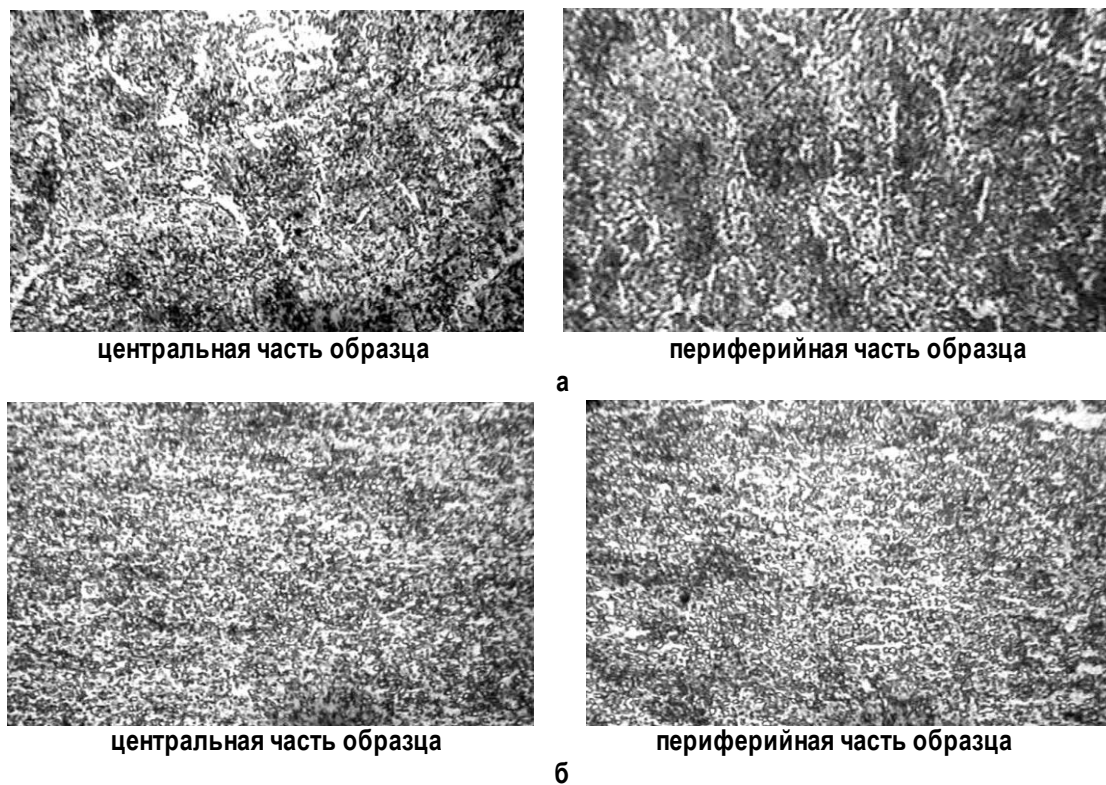


Рис. 7. Микроструктура образца из стали 45 в поперечном (а) и продольном сечении (б), подвергнутого улучшению и РКУП, после испытания на пластометре, х 1000