



СТРУКТУРНАЯ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТЬ СТАЛЕЙ

Комилов Исломжон Раимкул угли

Ассистент Алмалыкского филиала Ташкентского
государственного технического университета имени Ислама
Каримова

Абдукаримова Фериштабону Азимжоновна
Студентка Алмалыкского филиала Ташкентского
государственного технического университета имени Ислама
Каримова

Мадалиев Самандар Дилшод угли

Студент Алмалыкского филиала Ташкентского государственного
технического университета имени Ислама Каримова
<https://doi.org/10.5281/zenodo.8421529>

Аннотация: Структурная сверхпластичность сталей является важным аспектом исследования и разработки новых материалов с высокими механическими свойствами. В рамках данной аннотации рассматривается феномен структурной сверхпластичности сталей. В аннотации отражается роль механической обработки и способов обработки поверхностей в получении сверхпластичной структуры сталей. Данная аннотация представляет обзор темы "Структурная сверхпластичность сталей", включая ее определение. Это может быть полезным для исследователей, инженеров и промышленных работников, заинтересованных в разработке и применении сверхпластичного материала сталь в различных областях.

Ключевые слова: сталь, сверхпластичность, деформация, температура, феррит, УМЗ, микроструктура.

Abstract: Structural superplasticity of steels is an important aspect of research and development of new materials with high mechanical properties. With in the framework of this annotation, the phenomenon of structural superplasticity of steels is considered. The annotation reflects the role of mechanical processing and surface treatment methods in obtaining a superplastic structure of steels. This abstract provides an overview of the topic "Structural superplasticity of steels", including its definition. This can be useful for researchers, engineers and industrial workers interested in the development and application of superplastic steel material in various fields.

Keywords: steel, superplasticity, deformation, temperature, ferrite, UFG, microstructure.

Сверхпластическая деформация металла (SPD) - это специализированный процесс обработки металла, который позволяет достичь выдающихся механических свойств металла путем экстремальной деформации без разрушения кристаллической структуры. Вот ключевые аспекты SPD:

1. Цель SPD: Основной целью SPD является улучшение механических характеристик металла, таких как прочность, устойчивость к износу и усталости. Этот процесс позволяет получить металл с уникальными свойствами.

2. Высокий коэффициент деформации: Один из главных аспектов SPD - это высокий коэффициент деформации, что означает, что металл может быть деформирован на значительные значения без разрушения. Это приводит к значительному изменению формы без потери структурной целостности.

3. Методы SPD: Существует несколько методов SPD, включая механическое давление (ECAP), обработку равноканальным угловым прессом (CGP), обработку вращающимся волчком (SRF), тяговую деформацию и другие. Каждый из них применяется в зависимости от конкретных требований к материалу и конечным характеристикам.

4. Применения SPD:

-Авиация и автомобилестроение: SPD используется для создания легких и прочных материалов для конструкций воздушных и автомобильных транспортных средств.

-Медицинские имплантаты: Металлические имплантаты, подвергнутые SPD, могут обеспечивать высокую прочность и долговечность в организме.

-Энергетическая промышленность: SPD может применяться для создания прочных компонентов в энергетическом оборудовании.

-Спортивные товары: Производители спортивных товаров используют SPD для создания легких и прочных изделий, таких как ракетки и велосипеды.

5. Преимущества SPD: Среди основных преимуществ SPD следует выделить повышение прочности, устойчивости к износу и усталости материала, а также возможность создания легких компонентов.

6. Исследования и разработки: Поскольку SPD - это активно исследуемая область, исследователи продолжают работать над разработкой новых материалов и методов обработки для дальнейшего улучшения механических свойств металла.

Сверхпластическая деформация металла (SPD) может привести к изменению ряда свойств материала. Вот некоторые из ключевых свойств, которые можно улучшить или изменить с помощью SPD:

1. Прочность: SPD может значительно увеличить прочность металла. Путем усиления границ зерен и уменьшения дефектов внутри металла можно добиться высокой прочности и устойчивости к разрывам.

2. Устойчивость к износу: Металл, подвергнутый SPD, может иметь лучшую устойчивость к износу и трению благодаря улучшенной микроструктуре.

3. Усталостная прочность: SPD может повысить устойчивость к усталости материала, что важно в конструкциях, подвергающихся циклическим нагрузкам.

4. Деформируемость: Этот процесс позволяет материалу легко подвергаться деформации, что полезно для формовки сложных деталей.

5. Эффективность использования материала: SPD может позволить более эффективное использование материала благодаря уменьшению отходов и лучшей формовке.

6. Легкость и прочность: SPD может привести к созданию легких и прочных компонентов, что важно для авиации и автомобилестроения.

7. Долговечность: Металл, обработанный SPD, может обладать выдающейся долговечностью, что полезно в приложениях, где требуется долгий срок службы.

Важно отметить, что эффекты SPD могут зависеть от конкретных материалов, методов обработки и параметров процесса. Все это может быть настроено, чтобы достичь нужных механических и физических свойств материала в соответствии с конкретными требованиями приложения.

Результаты механических испытаний стали Сталь 45 в состоянии поставки при температурах 650-900°C свидетельствуют об отсутствии признаков сверхпластичности. Повышение температуры не приводит к резкому увеличению пластичности, более того, пластичность снижается при повышении температуры деформации в интервале 780-800°C.

Из рис.1 видно, что зависимость напряжения течения от температуры деформации также немонотонна. При повышении температуры до межкристаллических наблюдается сначала снижение напряжения течения σ , затем с повышением температур до A_{c3} напряжения течения возрастают. Последующее повышение температуры деформации вновь приводит к снижению напряжений течения.

Анализ зависимости σ от скорости деформации $\dot{\epsilon}$ показывает, что с уменьшением $\dot{\epsilon}$ напряжения течения слабо уменьшаются. Коэффициент скоростной чувствительности m не превышает 0,2.

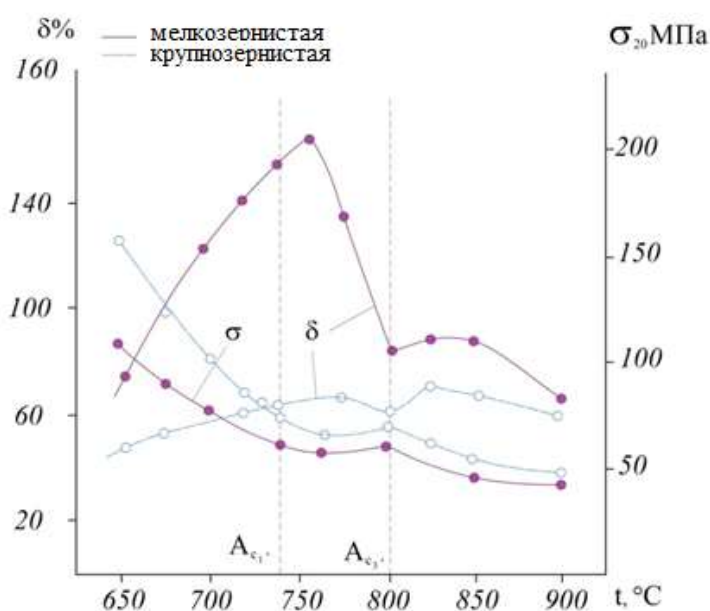


Рис. 1. Зависимость напряжения течения σ_{20} относительного удлинения δ от температуры деформации стали 45 с исходной мелкозернистой (----) и крупнозернистой (—) микроструктурой

Зависимость напряжения течения σ от степени и температуры рис.2 деформации для стали 45 в состоянии поставки, видно, что характер кривых напряжения течения существенно зависит от температуры деформации. Следовательно, при температуре ниже A_{c1} , деформация на начальной стадии идет с интенсивным упрочнением, после увеличения степени деформации до 30% напряжения течения снижаются при дальнейшем увеличении $\dot{\epsilon}$.

Деформация при температурах выше A_{c1} , в отличие от более низких температур, характеризуется протяженной стадией установившегося течения. Исследование микроструктуры деформированных образцов при различных температурах показало, что она существенно зависит от температуры деформации. Так, при температурах

ниже A_{c1} , деформация сопровождается образованием металлографической текстуры (рис.3а) и значительной неоднородностью структуры по сечению заготовок. Последнее связано, вероятно, с различным характером поведения ферритной и перлитной составляющих при горячей деформации. Так, если в перлитной составляющей развивается динамическая рекристаллизация, то в ферритной она протекает слабее. В интервале температур $A_{c1} \div A_{c3}$ наблюдается интенсивное развитие динамической рекристаллизации как в ферритной так и аустенитной составляющих микроструктуры. В результате в сталях формируется ультрамелкозернистая микроструктура (рис.3,б). Видно, что оптимальная температура формирования УМЗ структуры находится в интервале критических точек A_{c1} - A_{c3} . Аналогичные результаты были получены в работе, где мелкозернистая структура в доэвтектоидной стали формировалась после горячей деформации в двухфазной аустенито-ферритной области.

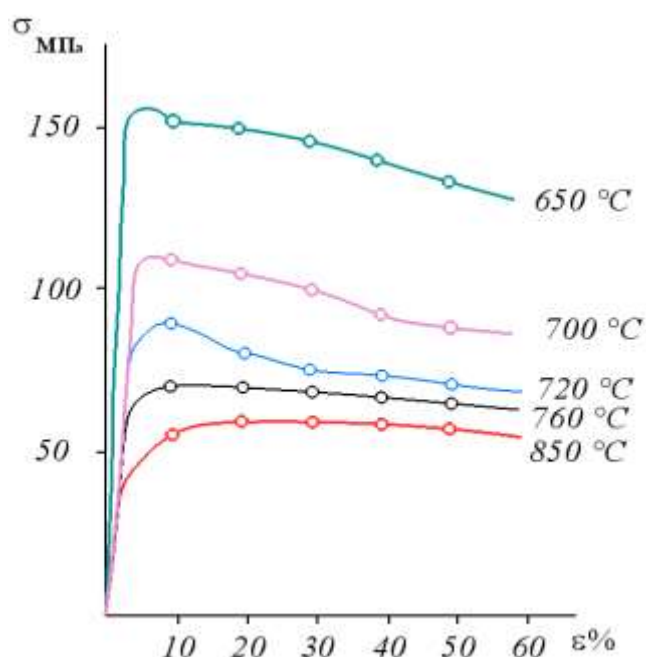


Рис. 2. Зависимость напряжения течения стали 45 от степени температуры деформации в состоянии поставки, $\dot{\epsilon} = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$

После деформации при температурах выше A_{c3} формируется крупнозернистая микроструктура (рис.3,в) с установлено, что для достижения наибольшего измельчения зерен пластическую деформацию необходимо проводить со степенью не менее 50%. Дальнейшее увеличение степени деформации ведет к значительному измельчению структурных составляющих.

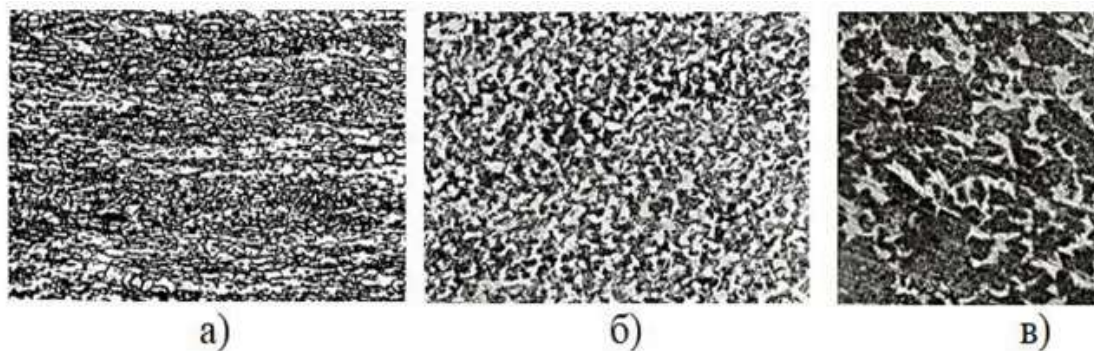


Рис.3. Микроструктура стали 45 после горячей деформации со степенью 50% при температурах:

а) 680°, б) 760°С, в) 825°С, х 500

Таким образом, результаты исследования показывают оптимальной температурой получения УМЗ, что микроструктуры для стали 45 является 760°С.

Исследование влияния скорости деформации при оптимальной температуре формирования УМЗ структуры показало следующее. Чем меньше скорость деформации в исследованном интервале $10^{-4} \div 10^{-2} \text{ с}^{-1}$, тем больше размер структурных составляющих. Деформация со скоростями более 10^{-2} с^{-1} сопровождается формированием неоднородной микроструктуры, связанная с неполным прохождением рекристаллизации. Наиболее однородная и мелкозернистая микроструктура в стали 45 формируется в интервале скоростей $10^{-4} \div 10^{-2} \text{ с}^{-1}$.

По этим режимам осажены заготовки из стали 45 с целью получения в них ультрамелкозернистой микроструктуры. Эти заготовки использовали для изучения проявления сверхпластичности в стали. Для сравнения исследовались образцы с крупнозернистой микроструктурой (состояние поставки).

Результаты исследования приведены на рис.1. Видно, что зависимость относительного удлинения от температуры характеризуется максимумом в интервале температур $700 \div 760 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Микроструктура после растяжения в этом приведена интервале на рис.4: а, б, в.

С повышением температуры испытания пластичность в стали 45 изменяется немонотонно. Это связано, вероятно, с увеличением в микроструктуре доли жесткой аустенитной составляющей и укрупнением микроструктуры (рис.5: а, б, в).

Зависимость δ от температуры деформации также носит немонотонный характер. При повышении температуры до межкритических сначала наблюдается снижение напряжений течения, затем повышение температур до A_{c3} приводит вновь к возрастанию напряжений течения. Последующее повышение напряжений течения температуры деформации выше A_{c3} приводит к снижению напряжения течения.



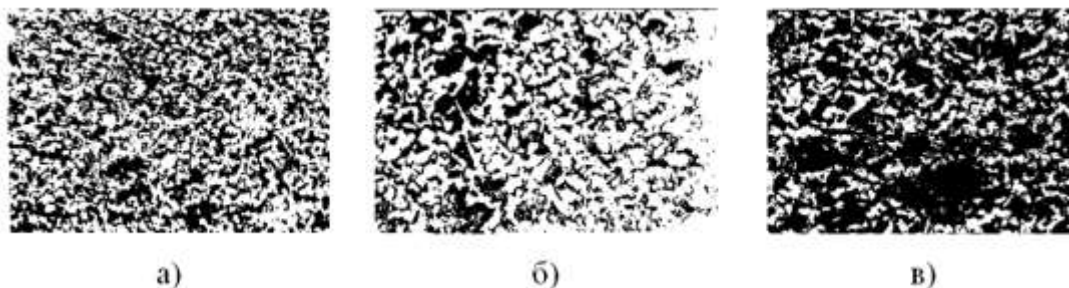


Рис.4. Микроструктура стали 45 после растяжения со степенью 50% при температурах: а) 720°C, б) 740°C в) 760°, $\dot{\epsilon} = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$, $\times 500$

Пластичность мелкозернистой стали имеет ярко выраженный максимум в аустенито-ферритной области, при температуре ниже и выше A_{c3} относительное удлинение резко турах снижается.

Температурный максимум пластичности в (А+ Ф) - области обусловлен, по-видимому, формированием микроструктуры типа «микродуплекс» им стабилизацией микроструктуры (рис. 6: а, б).

Следует отметить, что в стали с УМЗ микроструктурой исследованном интервале температур наблюдаются существенно большие значения относительного удлинения (рис.1), чем у крупнозернистых образцов.

Исходная микроструктура влияет и на скоростную зависимость напряжения течения, причем, сталь в состоянии поставки, имеет при всех исследованных скоростях деформации напряжения течения выше, чем с мелкозернистой микроструктурой (рис.7). Коэффициент скоростной чувствительности m у крупнозернистой стали не превышает 0,2, для мелкозернистой он равен не менее 0,33. Важно отметить, что повышение температуры дает меньший эффект снижения напряжения течения по сравнению со снижением скорости деформации, что может иметь определяющее значение при оценке стойкости штампового инструмента. Так, если при повышении температуры с 650°C до 780°C напряжения течения стали 45 снижаются со 100 МПа до 60 МПа при $\dot{\epsilon} = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$, то при $\dot{\epsilon} = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ при температуре 760°C снижении скорости до напряжение течения равно 32 Мпа.



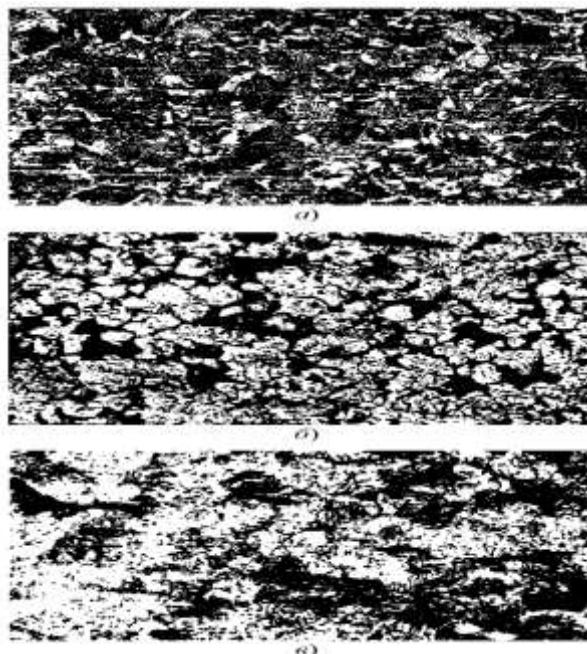


Рис.5. Микроструктура стали 45 после растяжения со степенью 50% при температурах а) 800°C, б) 850°C, в) 900°C, $\epsilon = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$, $\times 500$

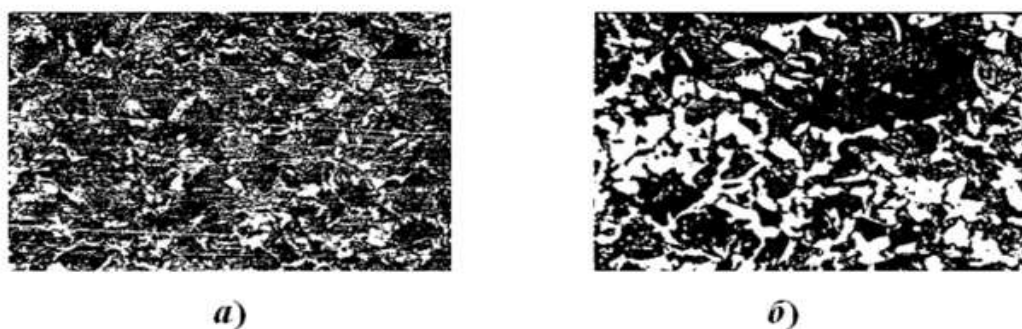


Рис.6. Микроструктура стали 45 после растяжения при температурах а) 760°C, б) 780°C, $\epsilon = 6,6 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$, $\times 500$

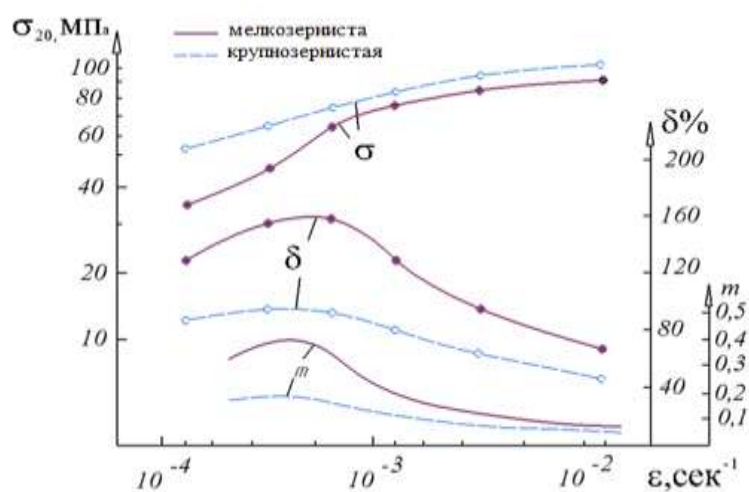


Рис.7. Зависимость напряжения течения σ и коэффициента m от скорости деформации $\dot{\epsilon}$ стали 45 с исходной мелкозернистой (—) и крупнозернистой (— —) микроструктурой при температуре 760°C

Таким образом, наличие мелкозернистой структуры позволяет наблюдать в стали 45 все признаки сверхпластического течения в аустенито-ферритной области.

Сравнение оптимальных температурных интервалов получения мелкозернистой микроструктуры и температур проявления эффекта сверхпластичности показывает, что они совпадают.

Практическая ценность этого положения состоит в том, что применении к конкретному технологическому процессу целесообразно совмещать подготовку структуры с операцией формообразования. Это позволит исключить подготовку мелкозернистой структуры как отдельную технологическую операцию.

Литература:

1. Нугманов И.Н. сверхпластичность стали Монография Ташкент – «Инновацион ривожланиш нашриёт- матбаа уйи» -2021
2. М.Эргашев, Д.С.Фазилов, А.А.Абдукаххаров, Ф.А.Абдукаримова Тог-кон техникаларини та'мирлашда йилган деталларни гайта тиклашнинг самарали усуллари // Наука и образование. 2023. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tog-kon-texnikalarini-ta-mirlashda-yeyilgan-detallarni-qayta-tiklashning-samarali-usullari> (дата обращения: 06.10.2023)
3. M.Ergashev, A.A.Abdukaxharov, I.R.Komilov, T.N.Kenjayeve Yeyilgan detallarni qayta tiklash va mustahkamlash texnologiyalarining samaradorligini taqqoslash // Science and Education. 2023. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/yeyilgan-detallarni-qayta-tiklash-va-mustahkamlash-texnologiyalarining-samaradorligini-taqqoslash> (дата обращения: 06.10.2023).
4. Person C.E./Journ. Inst, of Metalls.-1934.-V.54.-P.111
5. Пресняков А.А. Сверхпластичность металлов и сплавов Алма-Ата, Наука, 1969.- 203 с.
6. Кайбышев О.А. Пластичность и сверхпластичность металлов.- М.: Металлургия, 1975.- 280 с.
7. ERITB QOPLASH USULLARINI SAMARADORLIGINI TAQQOSLASH M Ergashev, AA Abdukaxharov, IR Komilov - Центральноазиатский журнал образования и ..., 2023