

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 669.13:620.186

**ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ МЕЖДЕФОРМАЦИОННЫХ ПАУЗ И СТЕПЕНИ РАЗОВОЙ
ДЕФОРМАЦИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ
ЦИКЛИЧЕСКОГО КРУЧЕНИЯ**

Е. Я. Лезинская, к. т. н., Л. Г. Ковалева, к. т. н., с. н. с., В. В. Перчаник, в. н. с.,
С. И. Пинчук, д. т. н., проф., В. Ф. Балакин, д. т. н., проф., Д. Г. Тишкевич, асп.

Ключевые слова: степень разовой деформации, структура стали, степень разупрочнения стали, процесс циклического кручения

Постановка проблемы. Установлена тесная взаимосвязь упрочняющих и разупрочняющих (динамических и статических) процессов в ходе циклического кручения вплоть до разрушения образцов. На начальных стадиях деформации возрастает роль разупрочняющих процессов, в дальнейшем упрочнение и разупрочнение уравниваются. Закономерности формирования структуры в ходе циклической деформации аналогичны наблюдаемым при непрерывной. Однако имеется ряд особенностей.

Формирование структуры стали при циклической деформации, в которой нагружение чередуется с паузами, зависит, в первую очередь, от длительности пауз между деформационными циклами. Если величина разовой деформации соответствует установившейся стадии, то пауза малой длительности перед следующим циклом деформации практически не приводит к структурным изменениям. Увеличение длительности паузы приводит к разупрочнению за счет снятия влияния предшествующей деформации [1].

Увеличение температуры, степени разовой деформации и длительности междеформационных пауз увеличивает, а выделение вторичных фаз уменьшает степень разупрочнения металла. При этом увеличение температуры деформации и длительности междеформационных пауз повышает степень статического разупрочнения, а увеличение степени разовой деформации уменьшает скорость упрочнения. Рост скорости деформации еще более увеличивает скорость динамического разупрочнения, при этом с увеличением суммарной деформации растет общее разупрочнение [2].

Таким образом, на степень разупрочнения в ходе циклической деформации оказывают влияние температура, величина разовой и общей деформации, скорость деформации и длительность междеформационных пауз. Вопросы, связанные с совместным влиянием перечисленных факторов на структуру и свойства обрабатываемых сталей, являются актуальными.

Материалы и методика эксперимента. Исследования проводили на образцах стали 08X18H10T диаметром 5 мм и длиной рабочей части 15 мм. Средний размер зерен стали составлял 350 мкм. Сдвиговую деформацию методом кручения проводили на машине СМЭГ-10Т, снабженной электромагнитной муфтой для подключения активного захвата к электродвигателю. Скручивание осуществляли по заданной программе (табл. 1) при температуре 1 200°C со скоростью вращения активного захвата 60⁻¹/мин. Пассивный захват при этом не был закреплен, чтобы исключить возникновение осевых усилий в образце.

Таблица 1

Режимы деформации образцов стали 08X18H10T

Шифр режима	Режим деформации*	Время обработки, с			
		между циклами	время деформации	общее время пауз	общее время обработки
1	непрерывный	-	5,0	0	5,0
2	(1,0 × 5)	0,5	5,0	2,5	7,5
3	(0,5 × 10)	1,0	5,0	10,0	15,0

Окончание таблицы 1

4	$(0,5 \times 10)$	2,0	5,0	20,0	25,0
5	непрерывный	-	12,5	0	12,5
6	$(0,5 \times 5)+(1,0 \times 10)$	0,5	12,5	7,5	20,0
7	$(0,5 \times 5)+(1,0 \times 10)$	1,0	12,5	15,0	22,5
8	$(0,5 \times 5)+(1,0 \times 10)$	2,0	12,5	30,0	42,5

***Пример** обозначения циклических режимов: $(0,5 \times 5) + (1,0 \times 10)$ обозначает $(0,5 \text{ оборота} \times 5 \text{ циклов}) + (1,0 \text{ оборот} \times 10 \text{ циклов}) = 12,5 \text{ оборотов}$.

Исследования микроструктуры проводили на наружной поверхности шлифов, вырезанных в поперечном направлении. Обработку микрофотографий проводили с помощью программы «Structure 2001», обеспечивающей всесторонний анализ первичных данных методом хорд после распознавания и реконструкции структуры с определением среднего диаметра зерен плоского среза и в объеме с соответствующими коэффициентами вариации, характеризующими разнотерность.

Полученные результаты и их обсуждение. На рисунках 1, 2 показаны структуры образцов после суммарных деформаций $n_{\Sigma} = 5$ и 12,5 оборотов активного захвата при температуре 1 200°C и последующим охлаждением в воде.

В сравнении с непрерывным режимом малая суммарная деформация $n_{\Sigma} = 5,0$ оборотов не обеспечивает полной рекристаллизации структуры при коротких паузах между циклами $\Delta t = 0,5$ и 1,0 с. Увеличение длительности паузы до 2 с приводит к полной проработке литой структуры.

При большой суммарной деформации $n_{\Sigma} = 12,5$ оборотов полная проработка структуры достигается уже при коротких паузах $\Delta t = 0,5$ с, а затем, в результате собирательной рекристаллизации, происходит незначительный рост зерен.

Рост общей деформации при неизменных разовых способствует разупрочнению металла. Наблюдается изменение структуры от исходной с большим количеством двойников и малоугловых границ до рекристаллизованных зерен со средним диаметром от 20 до 50 мкм и более. Такие же особенности характерны для процессов при непрерывном кручении.

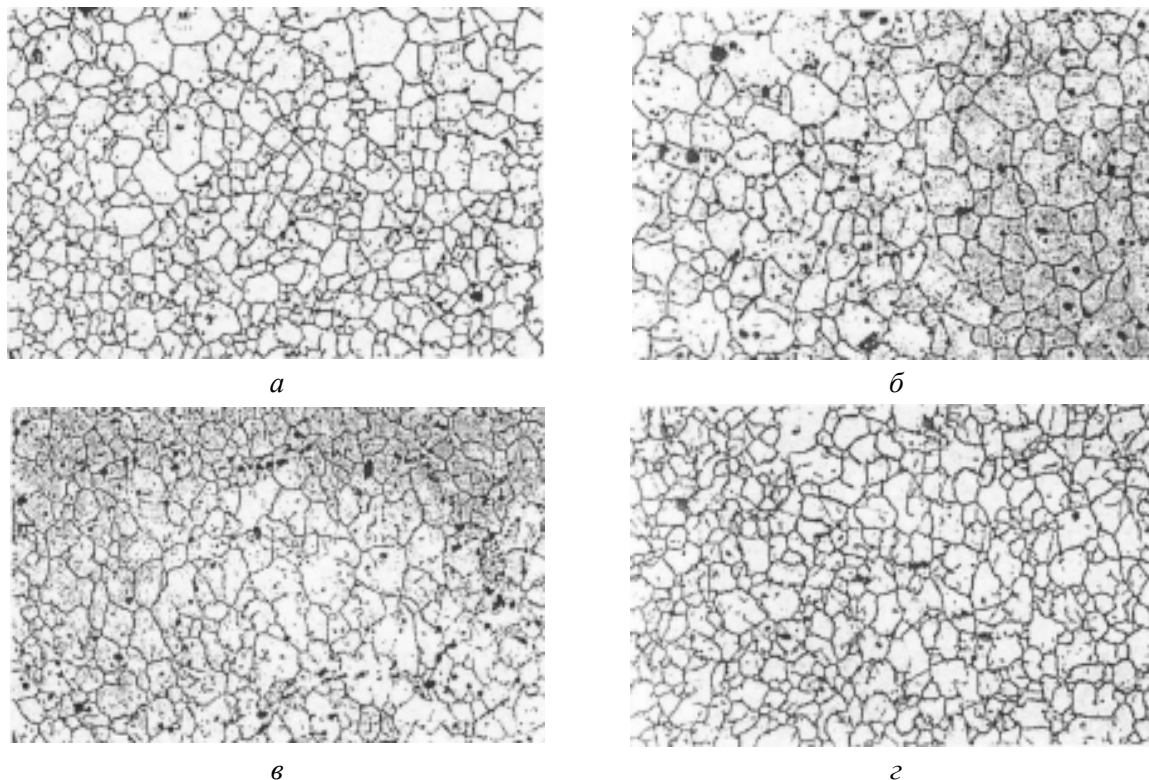


Рис. 1. Структуры образцов стали 08X18H10T после деформации 5 оборотов при режимах 1, 2, 3, 4 – а, б, в, г соответственно

Наличие междеформационных пауз сдвигает дореакристаллизационные процессы в область

более высоких деформаций, задерживая их, а когда начинается первичная или собирательная рекристаллизация, способствует более интенсивному ее протеканию. Например, при непрерывном кручении до деформаций $n_{\Sigma} = 5$ оборотов прошла первичная рекристаллизация и образовалась микроструктура со средним диаметром рекристаллизованных зерен 23 мкм. Наличие полусекундных междеформационных пауз при циклическом кручении с разовыми деформациями $n_i = 0,5$ оборота задерживает первичную рекристаллизацию. Структура при той же температуре формируется в условиях преимущественно динамического разупрочнения и при неизменной суммарной деформации на фоне сохранившихся остатков исходной структуры появляются ультрамелкие зерна диаметром 2 – 11 мкм. Более длительные паузы порядка одной или двух секунд при тех же температурно-деформационных условиях способствуют интенсификации первичной рекристаллизации в ходе циклического кручения, т. к. разупрочнение преимущественно статическое и структура состоит из рекристаллизованных зерен диаметром более 40 мкм.

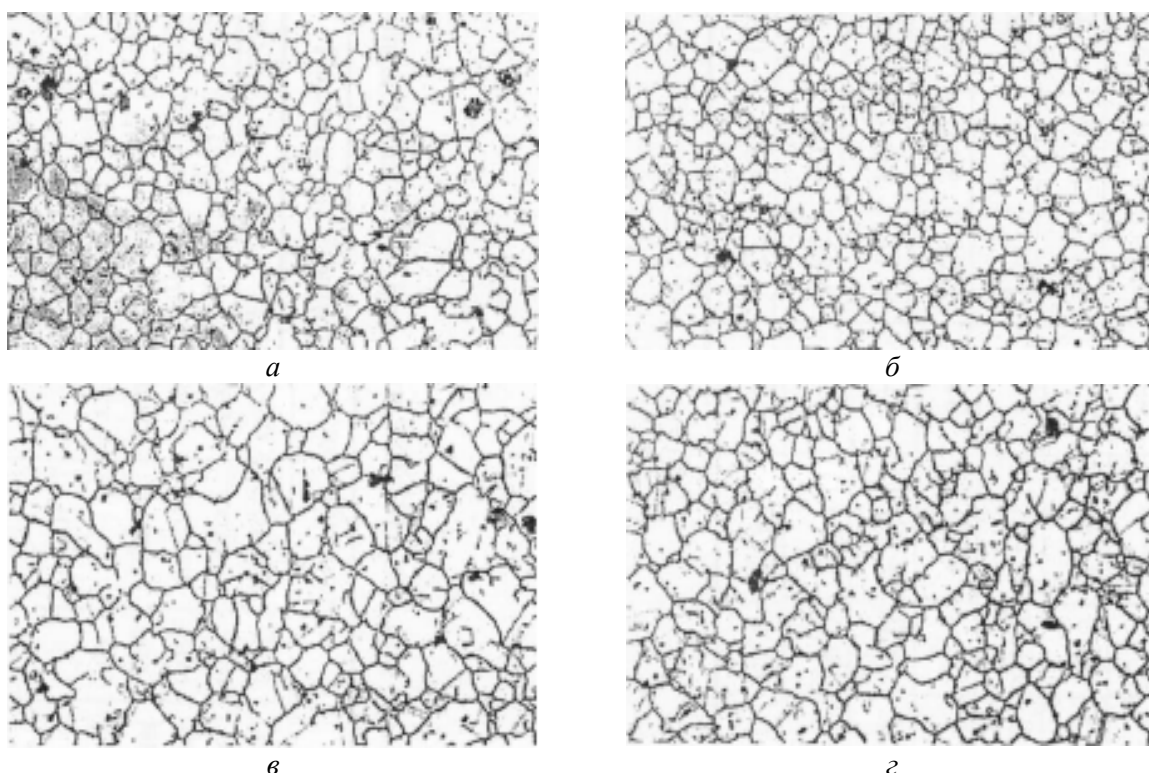


Рис. 2. Структуры образцов стали 08X18N10T после деформации 12,5 оборотов при режимах 5, 6, 7, 8 – а, б, в, г соответственно

Описанным закономерностям структурообразования соответствуют и изменения уровня напряжения течения стали, которые составляют, МПа: 73, 78 и 72 при режимах деформации 1 и 5, 2 и 6, 3 и 7 соответственно.

Изучение влияния величины разовых деформаций на трансформацию структуры в ходе циклической деформации показало, что увеличение таких деформаций при неизменной общей деформации способствует разупрочнению металла – наблюдается трансформация структуры от ультрамелких до рекристаллизованных зерен. Например, при общей деформации $n_{\Sigma} = 5$ оборотов и паузах 0,5 с, при разовых деформациях $n_i = 0,5$ оборотов наблюдаются ультрамелкие зерна диаметром 2 – 11 мкм и остатки исходной структуры, а при $n_i = 1,0$ оборот наблюдаются рекристаллизованные зерна диаметром 41,4 мкм. Напряжение течения при этом уменьшается с 98 МПа до 87 МПа.

Таким образом, при прочих равных условиях формирование структуры существенно зависит от разовых деформаций. Полностью рекристаллизованную структуру с величиной зерна 33 – 34 мкм можно получить при температуре 1 200°C либо по рассмотренному выше режиму с разовыми деформациями $n_i = 0,5$ оборота в течение 10 циклов с паузами по одной секунде, либо при разовых деформациях $n_i = 0,5$ оборота в течение 5 циклов, а с шестого по десятый цикл увеличивая разовые деформации до $n_i = 1,0$ оборота при полусекундных паузах

(табл. 2). В первом случае разупрочнение преимущественно статическое в течение всего циклического процесса деформации, а во втором – преимущественно динамическое с первого по пятый циклы деформации и преимущественно статическое с шестого по десятый. Соответственно и рекристаллизация при кручении по второму режиму задерживается до более высокой общей деформации $n_{\Sigma} = 7,5$ оборота. Напряжение течения составляет 72 МПа при кручении образцов по первому режиму и 46 МПа – при втором режиме деформации, что указывает на более полное разупрочнение металла.

Таблица 2

Характеристики режимов деформации и структур стали

Шифр режима	Число оборотов активного захвата, n	Режим деформации	Деформированное состояние		Угол сдвига γ , рад	Линейный эквивалент ε , %
			средний размер зерна D , мкм	коэффициент вариации K_D , мкм		
1	5,0	непрерывный	23,6	0,63	1,38	47,5
2		(1,0 × 5)	41,4	0,54		
3		(0,5 × 10)	33,7	0,65		
4		(0,5 × 10)	27,2	0,56		
5	12,5	непрерывный	33,2	0,53	1,49	49,9
6		(0,5 × 5)+(1,0 × 10)	32,7	0,55		
7		(0,5 × 5)+(1,0 × 10)	40,4	0,59		
8		(0,5 × 5)+(1,0 × 10)	40,4	0,58		

Циклическая деформация в зависимости от режима нагружения приводит к формированию различной структуры стали. На рисунке 3 показаны микроструктуры образцов стали с исходным крупным зерном, деформированных по режимам 6, 7, 8. Короткие полусекундные паузы между циклами привели к значительной разнорзернистости (рис. 3, а). При среднем диаметре зерна в объеме $D = 22,7$ мкм коэффициент вариации, характеризующий разнорзернистость, составляет $K_D = 0,73$. На гистограмме распределения диаметров зерен четко фиксируются два основных максимума – 12 и 38 мкм (рис. 4, а).

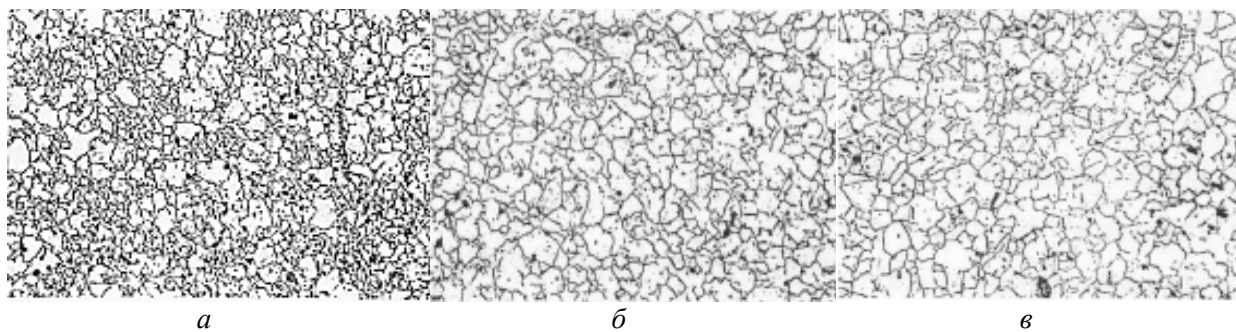


Рис. 3. Микроструктуры образцов, деформированных по режимам 6, 7, 8 – а, б, в соответственно

Двухсекундные паузы в начале испытания, где деформация в циклах незначительна ($n_i = 0,5$ оборота), позволили получить более однородную структуру (рис. 3, б) за счет равномерного распределения дислокаций в объеме. При среднем диаметре зерна $D = 29,9$ мкм коэффициент вариации составляет $K_D = 0,52$ и два основных максимума на гистограмме близки друг к другу, а именно 22 и 32 мкм (рис. 4, б).

В результате двухсекундных пауз между всеми циклами разупрочнение в паузах становится преобладающим по сравнению с разупрочнением в циклах (рис. 3, в). Увеличение суммарного и относительного упрочнения приводит к получению менее однородной структуры ($K_D = 0,64$ при $D = 27,8$ мкм – рис. 4, в) из-за наличия в ней большого количества двойников отжига и двойниковых границ.

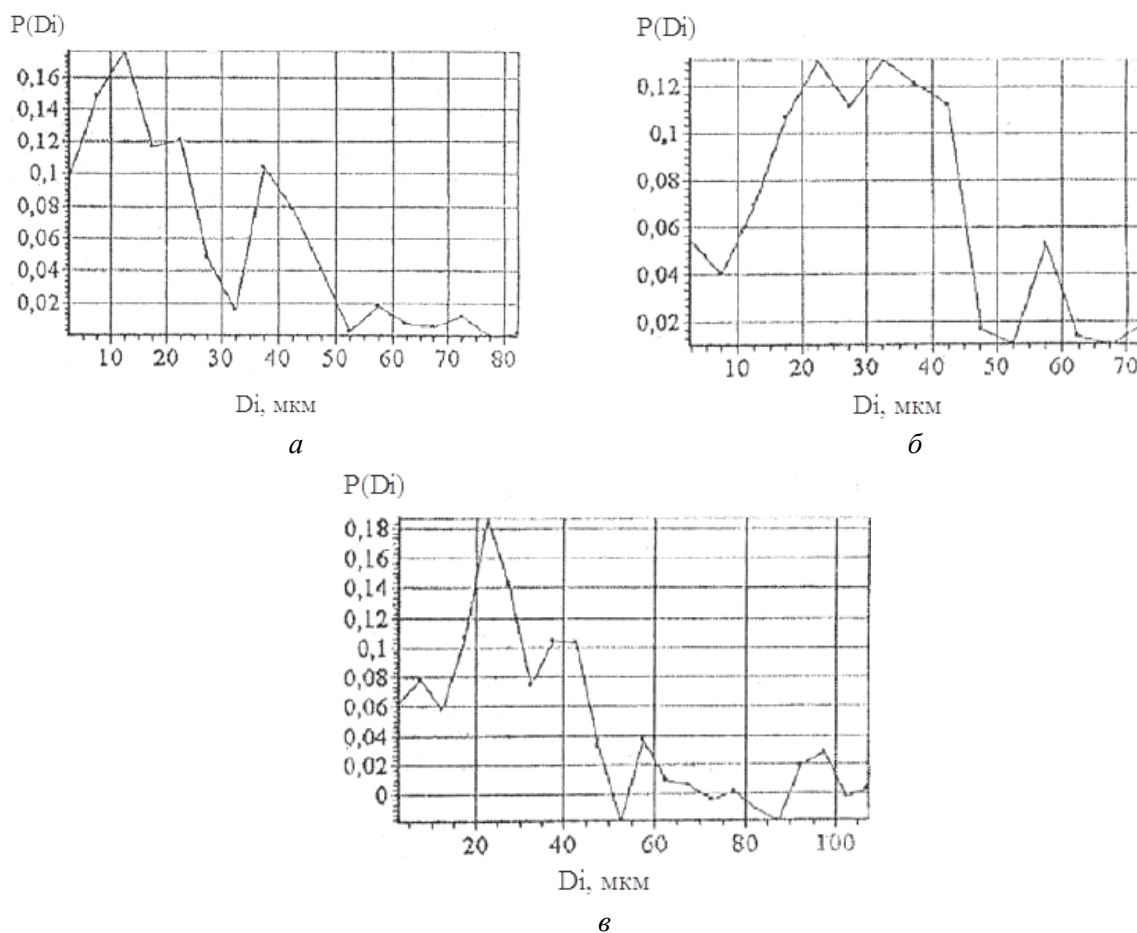


Рис. 4. Распределение диаметров зерен в объеме образцов после деформации по режимам 6, 7, 8 – а, б, в соответственно

Вывод. 1. По сравнению с непрерывной циклическая деформация сдвигает дорекристаллизационные процессы в область более высоких деформаций и способствует интенсивному протеканию первичной и собирательной рекристаллизации.

2. Увеличение общей деформации при неизменных разовых способствует разупрочнению металла и изменению структуры от исходной с большим количеством двойников и малоугловых границ до рекристаллизованных зерен со средним диаметром от 20 до 50 мкм и более. Увеличение разовых деформаций при неизменной общей также способствует разупрочнению металла. При этом наблюдается трансформация структуры от ультрамелких зерен диаметром 2 – 11 мкм и остатков исходной структуры до рекристаллизованных зерен со средним диаметром порядка 40 мкм.

3. Малая суммарная циклическая деформация не обеспечивает полной рекристаллизации структуры при коротких паузах между циклами $\Delta t = 0,5$ с и $\Delta t = 1,0$ с. Увеличение длительности паузы до двух секунд приводит к полной проработке литой структуры. При большой суммарной деформации сдвига полная проработка структуры обеспечивается уже при коротких паузах $\Delta t = 0,5$ с, а затем, в результате собирательной рекристаллизации, происходит незначительный рост зерна.

4. Циклическая деформация в зависимости от режима нагружения приводит к формированию различных структур стали. Короткие полусекундные паузы между циклами приводят к значительной разнотерности. Двухсекундные паузы в начале испытания, где деформация в циклах незначительна, позволяют получить более однородную структуру, а двухсекундные паузы между всеми циклами деформации увеличивают разнотерность стали.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Spittel M., Spittel V. Ver- und Entfestigung bei mehrstufiger Warmumformung mit Pausenzeiten <1s. Neue Hütte. – 1982. – № 2. – P. 55 – 60.

2. Шварцбат Я. С., Никитин Г. С., Зуев И. Г. Влияние многоступенчатого режима деформации на сопротивление нержавеющей стали горячему формоизменению // Изв. АН СССР. Металлы. – 1978. – № 2. – С. 155 – 164.

УДК 69.05

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ПОДГОТОВКИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

П. П. Олейник, д. т. н., проф., В. И. Бродский, к. т. н., доц.

Московский государственный строительный университет (ГОУ ВПО МГСУ), г. Москва

Ключевые слова: организация работ, подготовительный период, инженерная подготовка, основной период, строительная площадка, систематизация, плотность, объем, инженерные сети

Необходимым условием планомерного развертывания строительно-монтажных работ является выполнение подготовительных работ в объеме, обеспечивающем осуществление строительства заданными темпами. В этой связи основная задача выбора эффективных решений организации работ подготовительного периода заключается в определении:

- структуры и объема работ, необходимого и достаточного для своевременного открытия фронта работ по возведению зданий и сооружений;
- структуры и объема работ, выполняемого в соответствии с основными строительно-монтажными работами.

Имеющиеся в настоящее время теоретические положения по выполнению подготовительных работ не дают однозначного решения вышеуказанной задачи. Более того, в теории организации строительного производства нет четкой методологии развития подготовительных работ во времени и пространстве, учитывающей всю совокупность влияющих факторов и разнообразие методов возведения объектов.

Основные положения по организации инженерной подготовки строительной площадки должны включать:

- опережающее возведение постоянных инженерных сетей и сооружений для обеспечения строительства водой, теплом, паром, сжатым воздухом и электроэнергией;
- опережающее устройство внеплощадочных и внутриплощадочных дорог для использования их в процессе строительства;
- опережающую прокладку инженерных сетей под транспортными коммуникациями, монтажными и складскими площадками;
- совмещенную прокладку инженерных сетей с возведением подземных частей зданий и сооружений;
- совмещенную прокладку различных видов инженерных сетей вне зон строительства объектов и под монтажными и складскими площадками;
- организацию производственных и бытовых условий на строительной площадке за счет возведения мобильных комплексов из инвентарных зданий, строительства в подготовительном периоде постоянных зданий и использования для нужд строительства существующих зданий.

Эти положения достаточно полно реализуются при условии расчленения территории строительной площадки на однородные участки по функциональным признакам производства работ. Такие однородные участки систематизированы в десять групп (табл. 1).

Таблица 1

Систематизация однородных участков по функциональным признакам

Номер группы	Функциональные признаки
I	Территория, участки строительной площадки, подлежащие расчистке со сносом зданий
II	Территория, участки строительной площадки, подлежащие планировке с обеспечением стоков вод
III	Участки строительной площадки, предназначенные для размещения мобильных (инвентарных) зданий и их комплексов