

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА И.В. ГОРЫНИНА



“Прометей”

Исследование новых высокопрочных износостойких сталей

Докладчик: В.В. Рябов

Соавторы: Г.Д. Мотовилина, к.т.н.; Е.И. Хлусова, д.т.н.

*Работа выполнена при финансовой поддержке
Министерства образования и науки РФ в рамках
Соглашения о предоставлении субсидии
№14.579.21.0003, уникальный идентификатор
проекта RFMEFI57914X0003.*

Белово 2016 г.



Цель и задачи проекта

Цель ПНИ: Разработка высокопрочных сталей с пределом текучести **1200-1700** МПа и технологий их производства для повышения срока эксплуатации высоконагруженных деталей почвообрабатывающих и других сельхозмашин более чем в **5** раз за счет управления структурообразующими процессами при горячей деформации, оптимизации формы конечных изделий и нанесения износостойких покрытий.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ЗАДАЧИ

- разработка химического состава 3-х марок стали;
- исследование структурообразования при прокатке и штамповке;
- изучение деформационной способности стали;
- исследование влияния различных факторов на износостойкость покрытий.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

- технология прокатки листового проката;
- технология упрочняющей термообработки;
- технология штамповки деталей;
- технология нанесения покрытий.

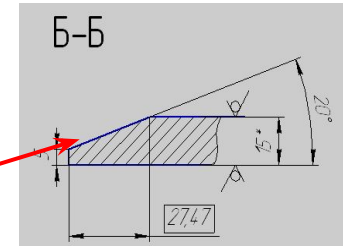
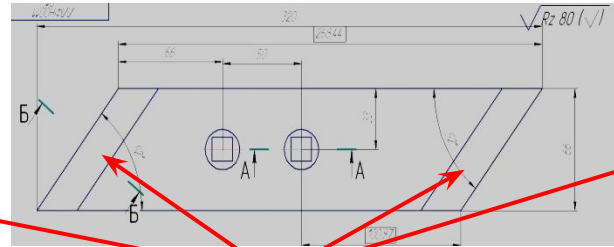
ПОДГОТОВКА К КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ

- чертежи деталей;
- комплекты ТИ на изготовление листового проката, изготовление деталей, нанесение покрытий;
- ТУ на поставку листов, деталей, покрытий;
- ПМ исследовательских испытаний, включая стендовые и натурные;
- проведение испытаний для подтверждения требованиям ТЗ

Актуальность: импортозамещение запасных деталей рабочих органов сельхозмашин

Особенности технологии

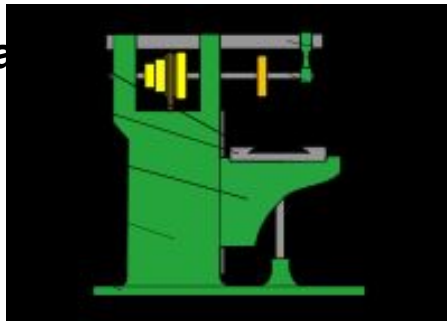
1. Разработка безотходной технологии утонения режущей кромки деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин непосредственно в процессе штамповки.



Режущая кромка лемеха

фрезеровка

Трудозатратная
Дорогостоящая
Неэкономичная



штамповка

Повышение
энергоэффективности,
производительности
изготовления деталей



2. Разработка трех марок штампуемых сталей с пределом текучести не менее 1200, 1500 и 1700 МПа при сохранении пластичности и вязкости

повышение энергоэффективности и производительности изготовления деталей и срока их эксплуатации (не менее чем в 5 раз), что приведет к решению проблем импортозамещения и конкурентоспособности отечественной сельхозтехники и повышению урожайности.

Натурные испытания изготовленных штамповкой деталей будут проводиться на АО «РТП Петровское»

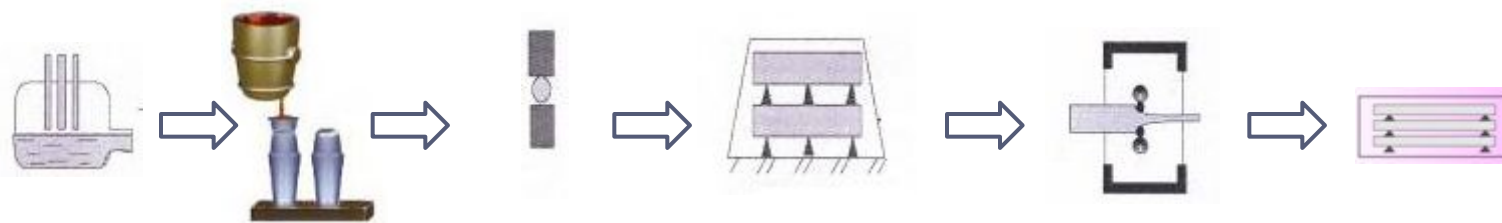
Химический состав опытных партий листового проката (масс.%)

Марка	Номер плавки	C	Si	Mn+Ni +Cu	Cr+Mo	Ti+V+Nb	Al	Ca (по расчету)	B (по расчету)	Сэкв, %
«1200»	1	0,30		1,60	0,60	0,09				0,63
	2	0,35		1,60	0,59	0,08				0,68
«1500»	3	0,37	+	2,06	1,15	0,06	+	+	+	0,83
	4	0,39		2,17	1,18	0,07				0,87
«1700»	5	0,45		2,43	1,66	0,11				1,07

Примечание - Содержание серы и фосфора в опытных плавках не превышает 0,010% каждого, содержание азота – не более 0,012%.

Патентная заявка: № **2015125002**, приоритет от **24.06.2015**, на изобретение «Высокопрочная сталь для сельскохозяйственных машин».

Технологическая схема производства высокопрочных сталей для деталей сельскохозяйственной техники



выплавка

разливка

ковка

нагрев под прокатку

прокатка

термообработка



СТАН КВАРТО»800» ЦНИИ КМ «ПРОМЕТЕЙ»

Стан	Макс. усилие прокатки, т	Удельное усилие прокатки, т/мм	Макс. крутящий момент, МН*м
5000 ММК	12000	2,4	2x3,82
5000 Северсталь	9000	1,8	2x5,82
5000 ВМЗ	12000	2,4	2x3,82
Стан Кварто- 800 Прометей	1680	2,1	



Уникальный прокатный стан **Quarto 800** с установкой ускоренного охлаждения позволяет имитировать удельные характеристики любого промышленного стана

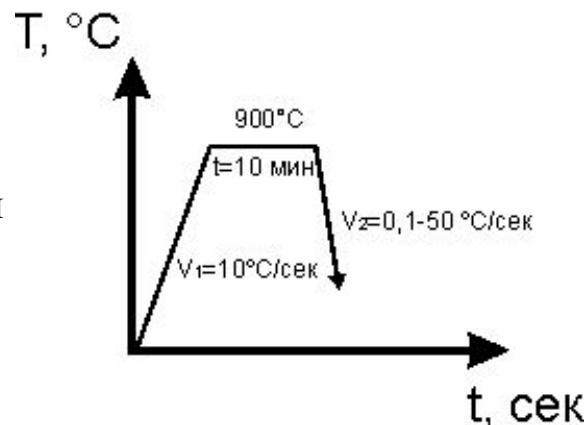
Кинетика превращения аустенита при непрерывном охлаждении и деформационном воздействии



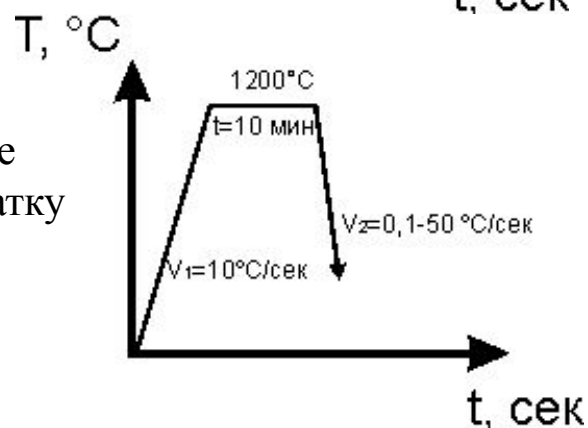
Высокоскоростной закалочно-деформационный дилатометр DIL-805

Термический цикл обработки заключался в нагреве образцов диаметром 5 мм до 900 или 1200°C со скоростью 1-5°/с, выдержке в течение 10 мин и охлаждении с различной скоростью. После нагрева до 1200°C образцов диаметром 5 мм выполнялась также деформация сжатием на 30 % при температуре 1150°C и последующее охлаждение со скоростью от 0,5 до 50°/с.

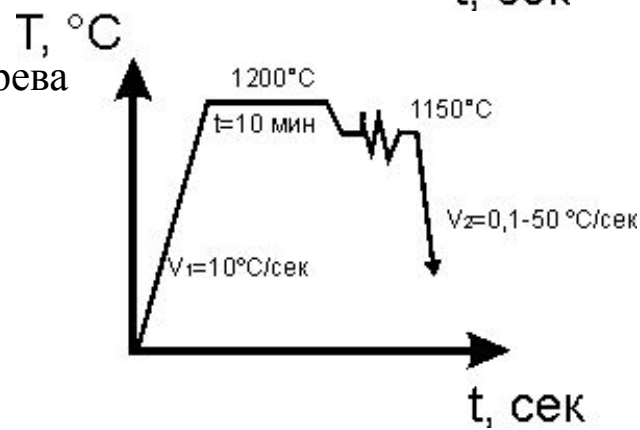
Моделирование термообработки (закалка)



Моделирование нагрева под прокатку



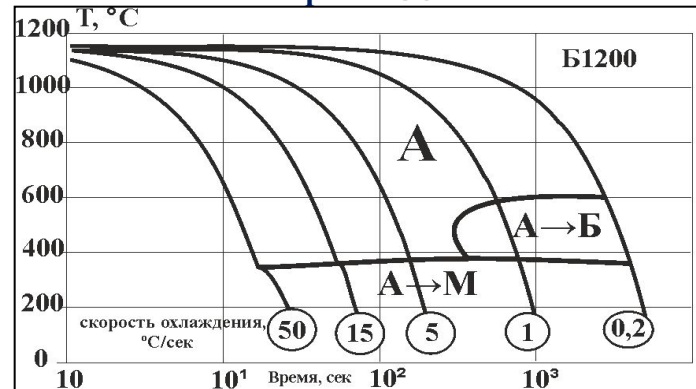
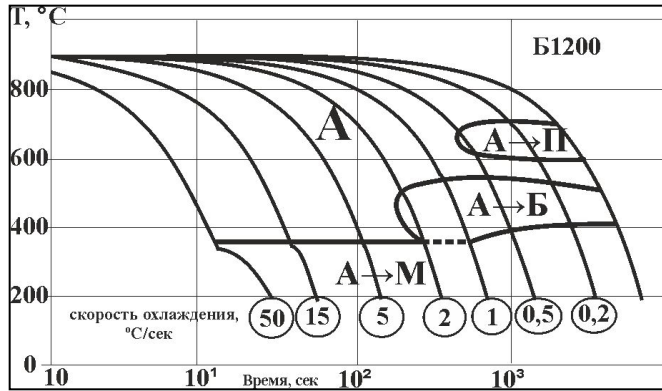
Моделирование нагрева под штамповку



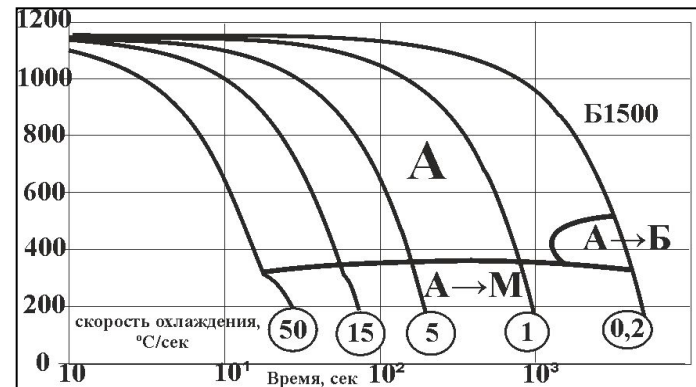
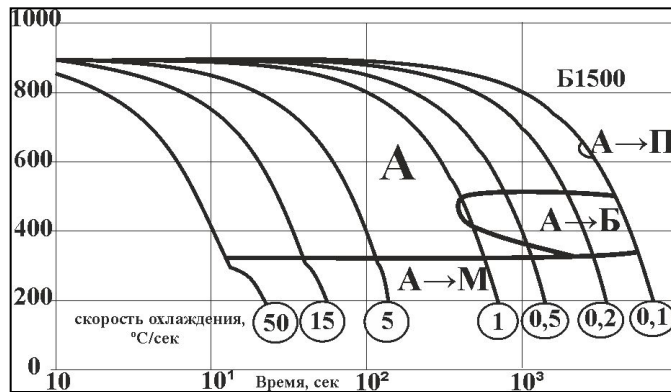
ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В РАЗРАБОТАННЫХ СТАЛЯХ

Нагрев до **900°C**

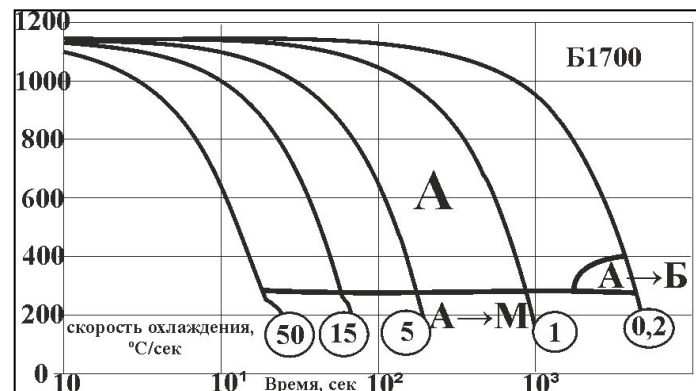
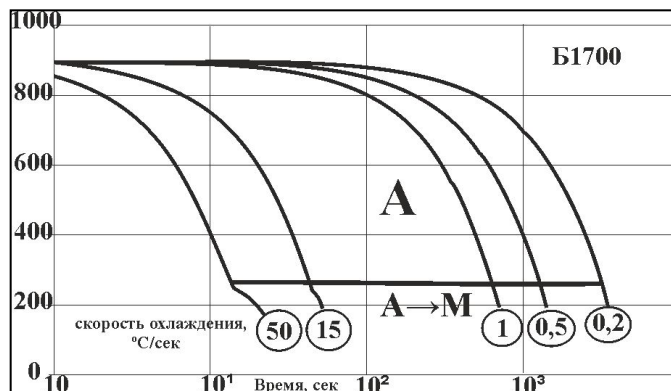
Нагрев до **1200°C**, деформация **30%**
при **1150°C**



Сталь Б1200
C=0,30%,
Si=0,30%,
Mn+Ni+Cu=1,60%,
Cr+Mo=0,60%,
V+Nb+Ti = 0,09%
B=0,003%



Сталь Б1500
C=0,37%,
Si=0,26%,
Mn+Ni+Cu=2,06%,
Cr+Mo=1,15%,
V+Nb+Ti = 0,06%
B=0,003%

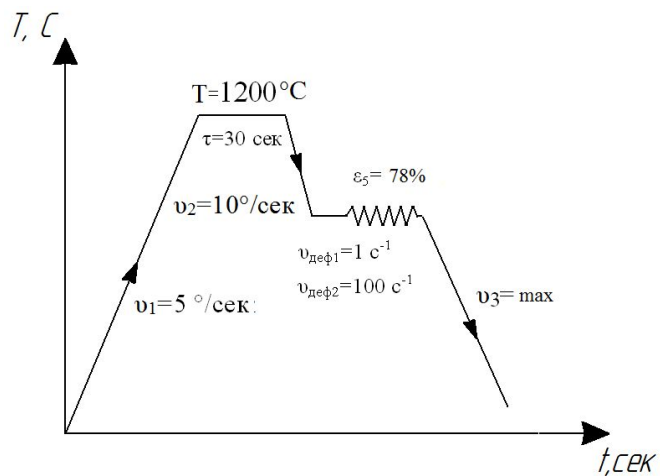
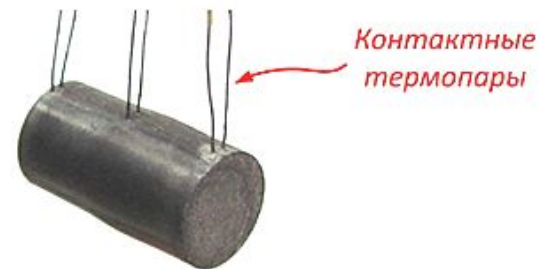
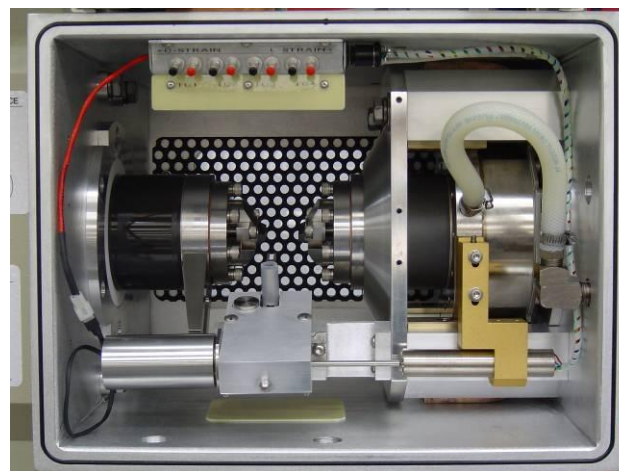


Сталь Б1700
C=0,45%,
Si=0,36%,
Mn+Ni+Cu=2,43%,
Cr+Mo=1,66%,
V+Nb+Ti = 0,11%
B=0,003%

При закатке

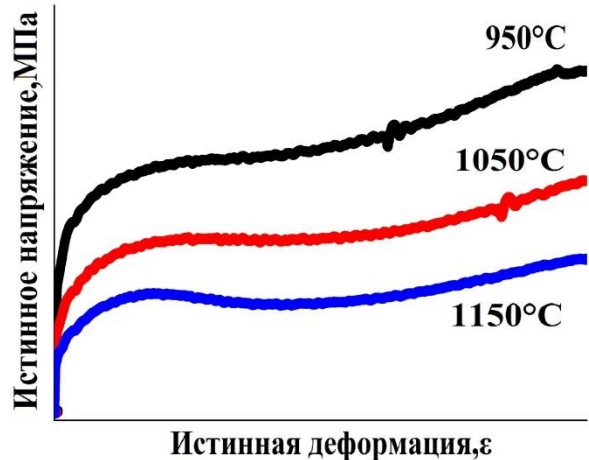
При штамповке

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ КОМПЛЕКС GLEEBLE-3800

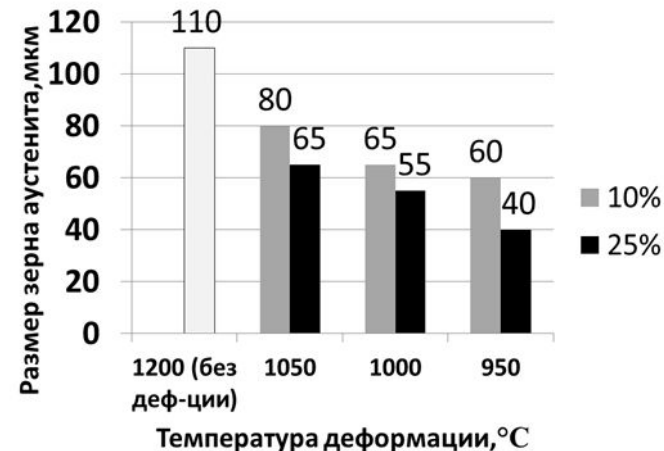


Результатом эксперимента являются кривые пластического течения.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ И СТАТИЧЕСКОЙ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПРИ ИМИТАЦИИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ (скорость деформации 1 с^{-1})



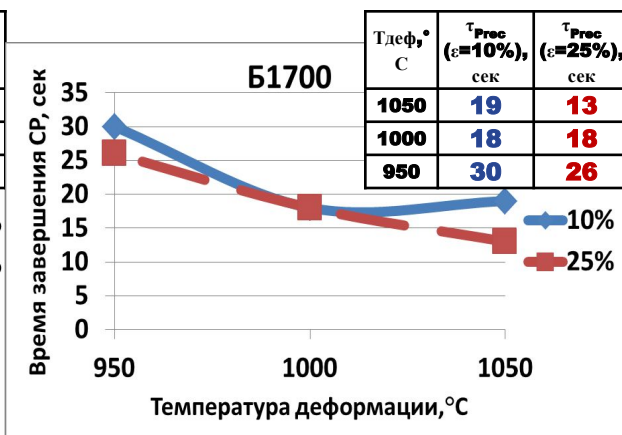
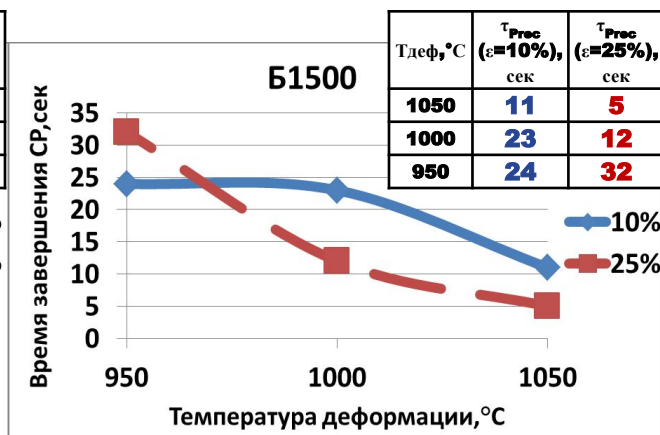
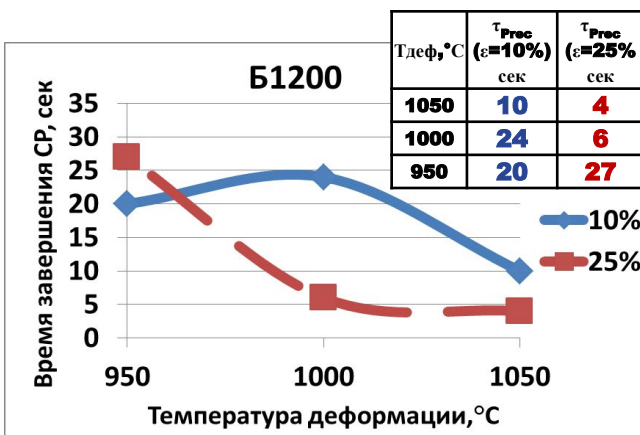
Марка стали	Пороговая истинная деформация ϵ_p		
	Температура деформации, °C		
	950	1050	1150
Б1200	-	0,35	0,26
Б1500	-	0,42	0,26
Б1700	-	-	0,27



Общий вид диаграмм деформирования

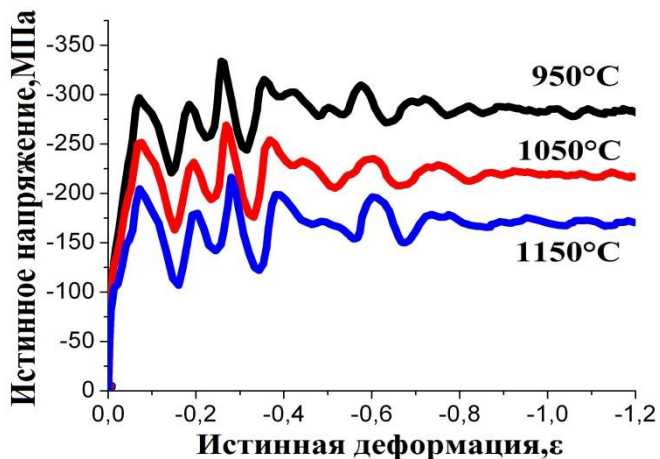
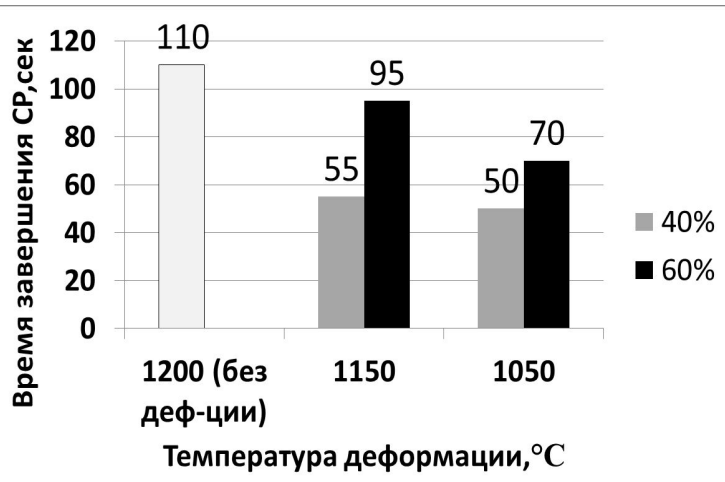
Значения пороговой деформации, необходимой для начала процесса ДР

Пример изменения размера зерна аустенита для стали Б1500



Время завершения СР в зависимости от температуры и степени относительной деформации

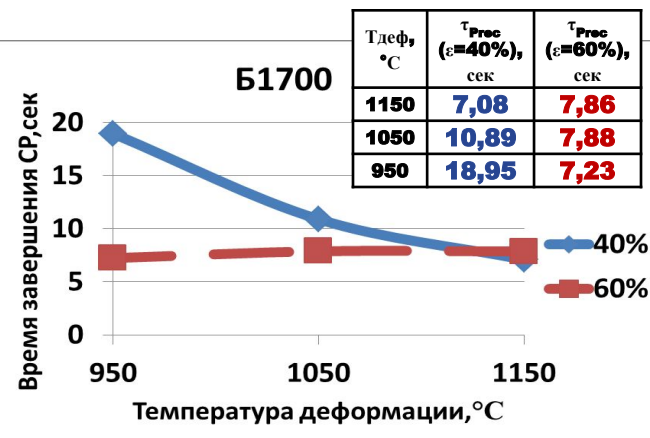
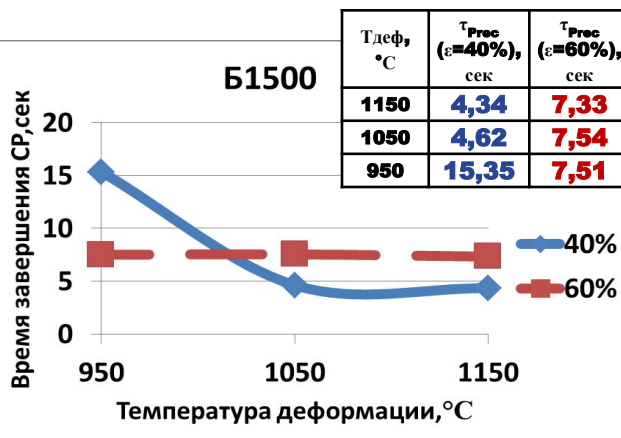
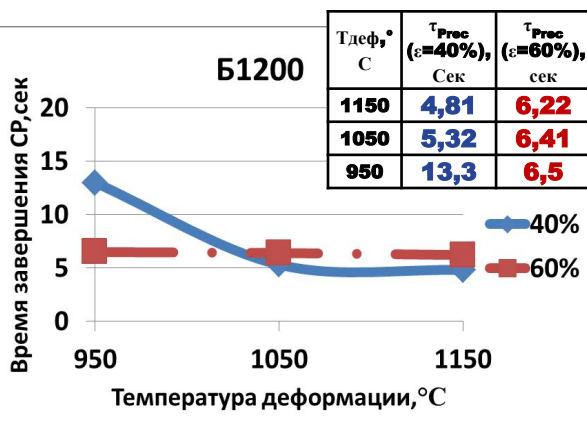
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ И СТАТИЧЕСКОЙ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПРИ ИМИТАЦИИ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ (скорость деформации **100 с⁻¹**)



Пилообразные искажения диаграммы вызваны колебаниями нагружающего устройства из-за очень высокой скорости деформации и не позволяют выявить пик напряжений, связанный с протеканием ДР.

Пример изменения размера зерна аустенита для стали Б1500

Диаграмма деформирования стали марки Б1500



Время завершения СР в зависимости от температуры и степени относительной деформации

Методы исследования структуры

Оптическая
микроскопия



оптический микроскоп
«TECHNOMEIJIM 7200» с
программным обеспечением
«ThixometPro»

Сканирующая микроскопия
(EBSD-анализ)

Растровая электронная
микроскопия



Электронно-ионный сканирующий
микроскоп Quanta 200 3D FEG

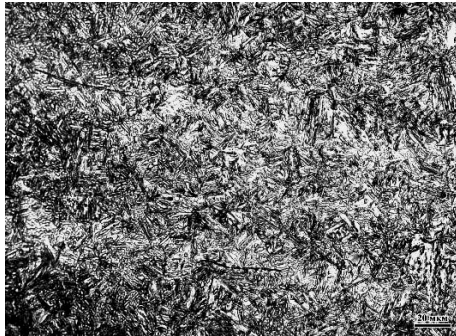
Просвечивающая
электронная
микроскопия



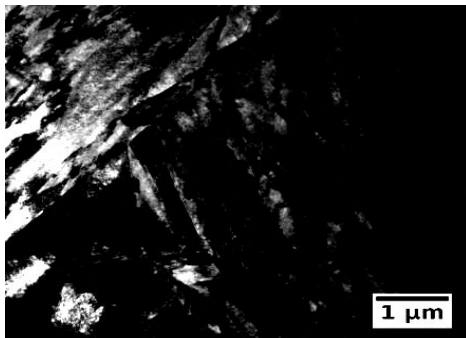
Просвечивающий электронный
микроскоп Tecnai G2 30F S-TWIN
STEM

СТРУКТУРА И ТВЕРДОСТЬ СТАЛИ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ

Б1200



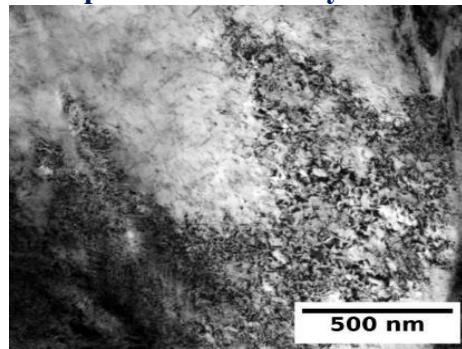
реечный мартенсит **75-90%**



Б1500



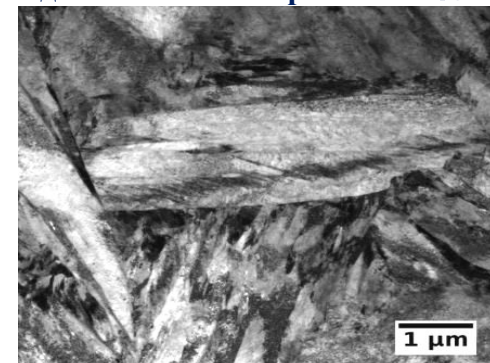
мартенсит самоотпуска **5%**



Б1700



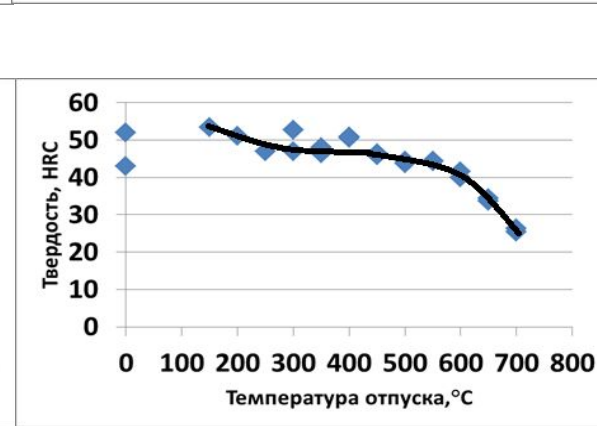
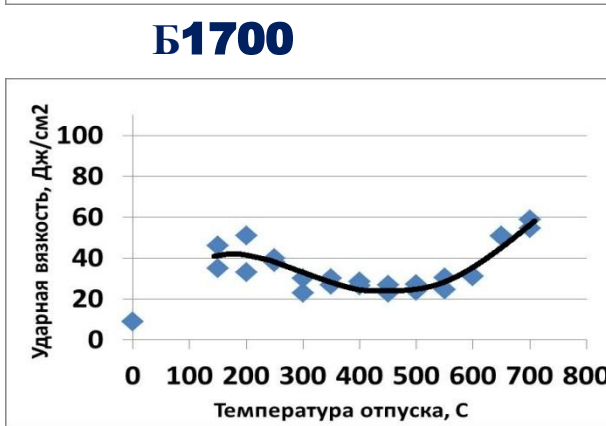
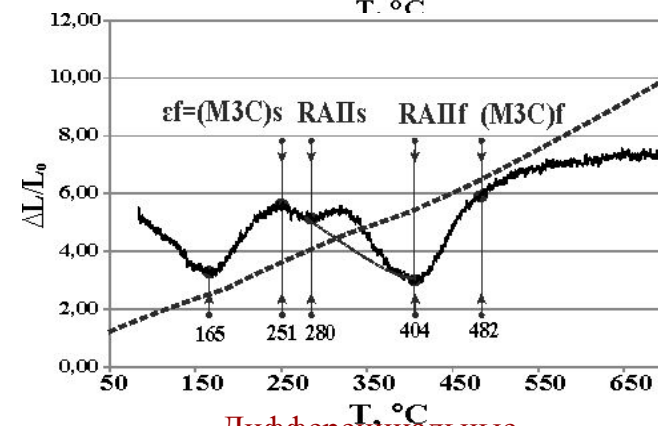
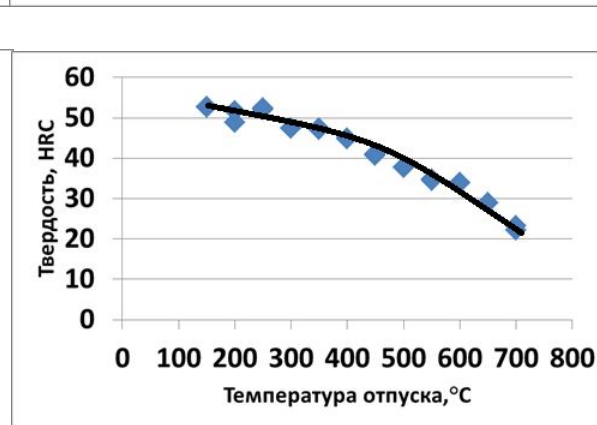
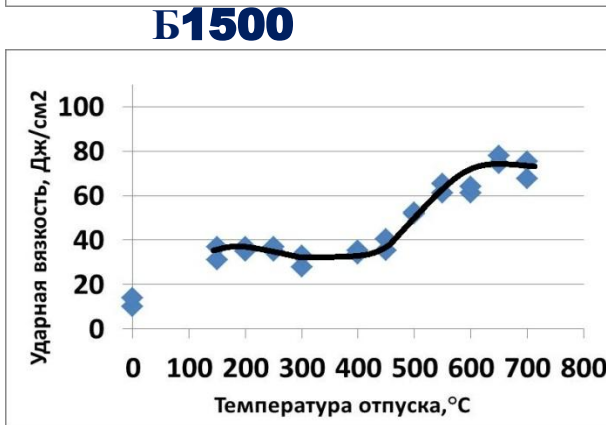
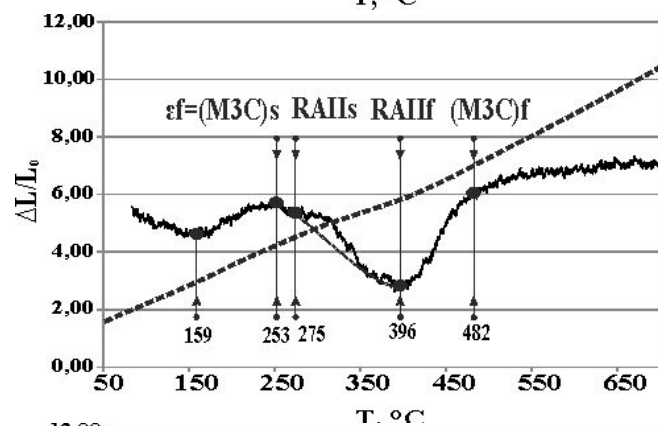
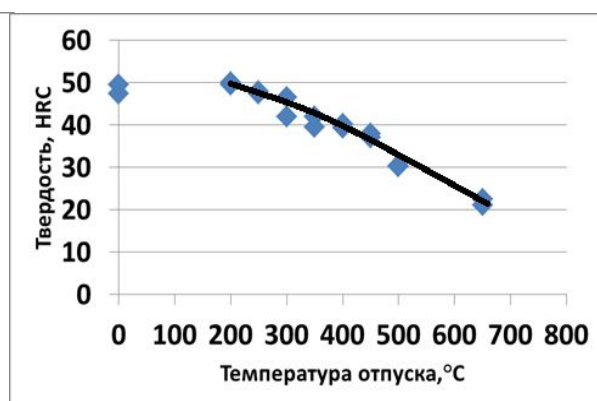
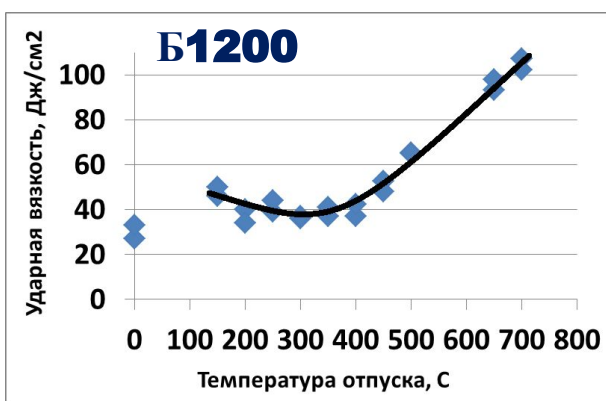
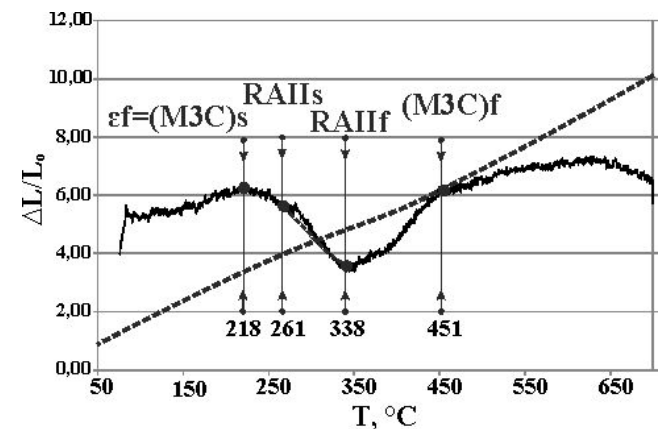
двойниковый мартенсит **5%**



Механические свойства листов в закаленном состоянии

Обозначение стали	Толщина листов, мм	Ac ₃ , °C	Механические свойства					
			σ _{0,2} , МПа	σ _B , МПа	δ ₅ , %	δ _p , %	Ψ, %	HRC
«1200»	12	800	1565	1915	10,4	2,8	35	52
«1500»		780	1720	2195	9,0	3,3	29	59
«1700»		790	1770	2470	7,5	3,5	16	59

ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРИ ОТПУСКЕ СТАЛИ



Дифференциальные
дилатометрические зависимости

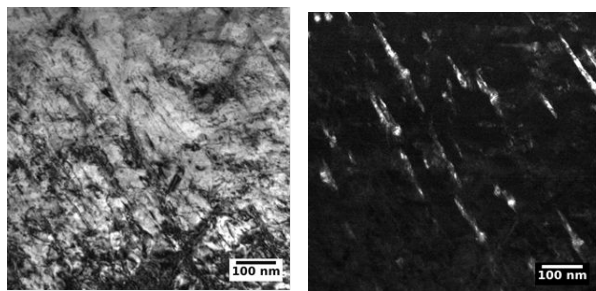
Ударная вязкость

Твёрдость

СТРУКТУРА СТАЛИ ПОСЛЕ ОТПУСКА

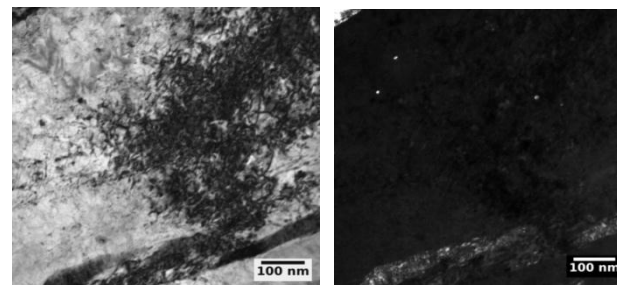
Отпуск при **150°C**

Отпуск при **300°C**

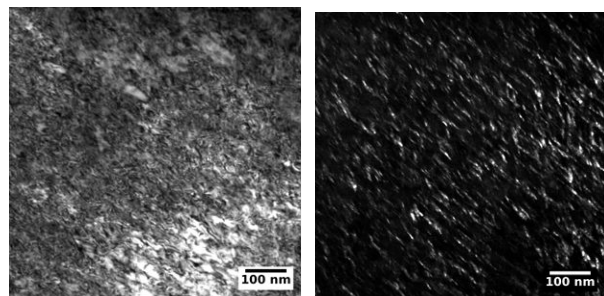


Б1200

Размер карбидов: **56 нм**
Объёмная плотность: **$7,5 \times 10^{20} \text{ м}^{-3}$**



Размер карбидов: **7 нм**
Объёмная плотность: **$9,4 \times 10^{20} \text{ м}^{-3}$**



Б1500

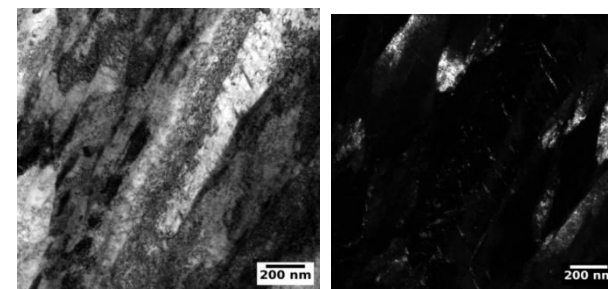
Размер карбидов: **13 нм**
Объёмная плотность: **$8,8 \times 10^{21} \text{ м}^{-3}$**



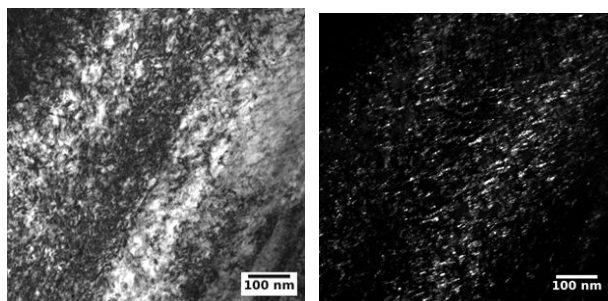
$\text{Fe}_{2-2,5}\text{C}$



Fe_3C

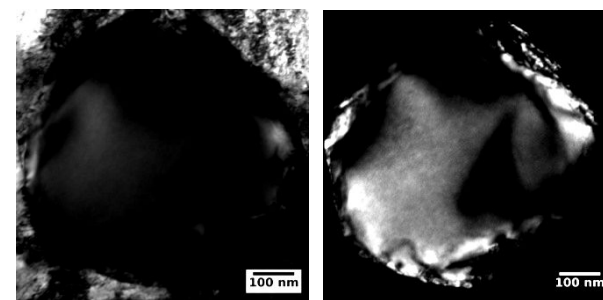


Размер карбидов: **26 нм**
Объёмная плотность: **$13 \times 10^{20} \text{ м}^{-3}$**



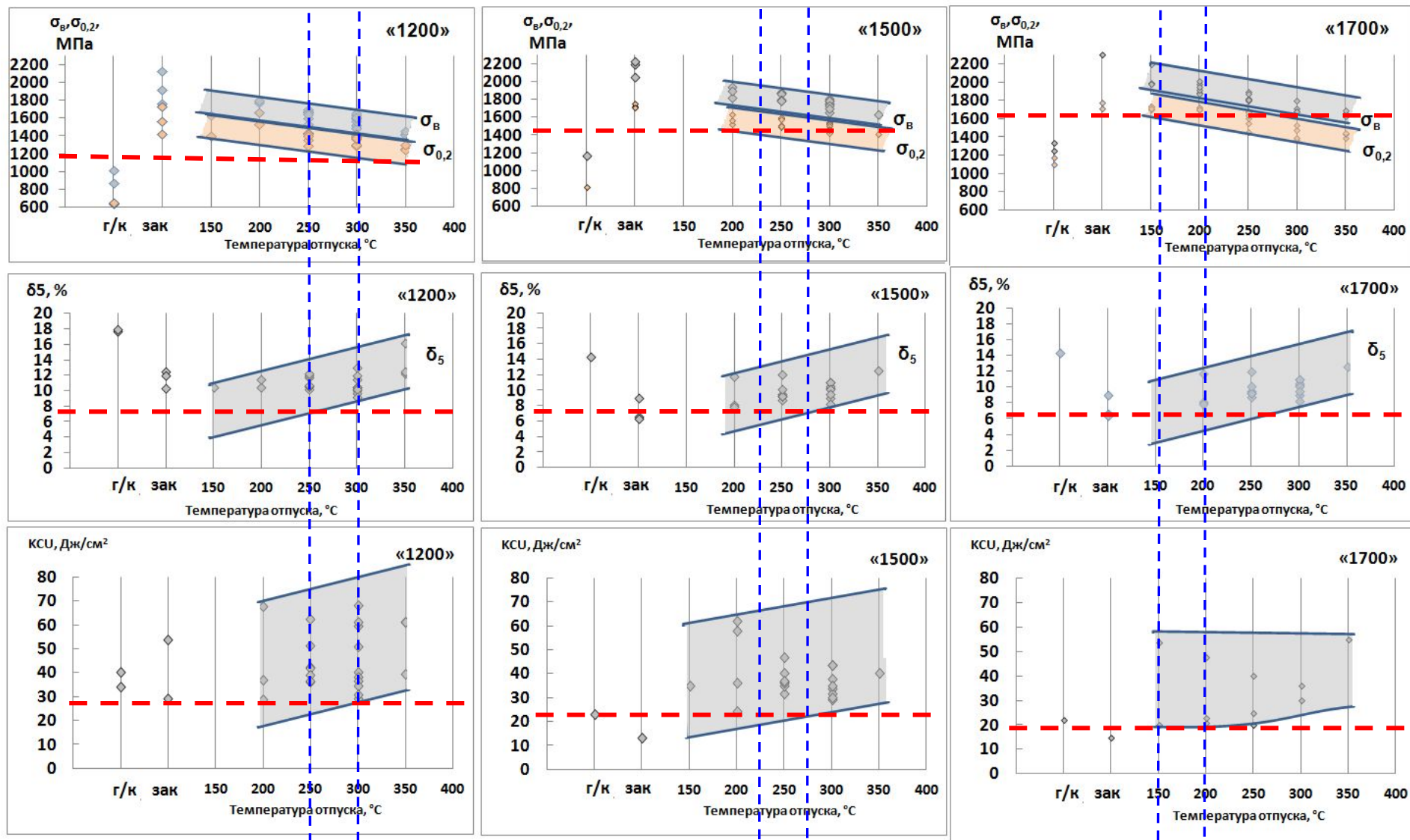
Б1700

Размер карбидов: **13 нм**
Объёмная плотность: **$2,2 \times 10^{22} \text{ м}^{-3}$**



Остаточный аустенит

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОТПУСКА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА



Рекомендуемый
отпуск

250-300 °С, 6 ч

225-275 °С, 6 ч

150-200 °С, 2 ч

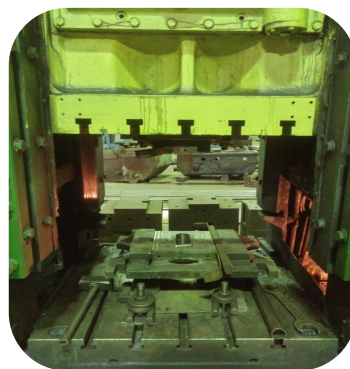
Диаграммы построены по результатам испытаний листового проката толщиной от **6** до **18** мм

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШТАМПОВАННЫХ ЗАГОТОВОК И ДЕТАЛЕЙ

Наименование изделия	Наименование параметра	Единицы изм.	Значение параметров					Требования, н.м.
			Б1200 ($T_{отп} = 300^{\circ}\text{C}$)	Требования, н.м.	Б1500 ($T_{отп} = 250^{\circ}\text{C}$)	Требования, н.м.	Б1700 ($T_{отп} = 200^{\circ}\text{C}$)	
ШТАМПОВАННЫЕ ЗАГОТОВКИ И ДЕТАЛИ	σ_B	МПа	1560-1720	1350	1800-1815	1650	1850-1990	1850
	$\sigma_{0,2}$	МПа	1340-1460	1200	1500-1535	1500	1700-1720	1700
	δ_5	%	8,1-9,3	8	8,1-9,1	8	7,0-8,5	7
	Ψ	%	35-39	-	30-40	-	21-27	-
	KCU⁺²⁰	Дж/см ²	31-36	30	25-38	25	20-29	20
	HRC	ед.	43-47	-	49-50	-	52-56	-



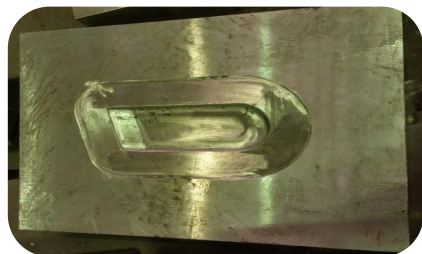
Печи и штамп



Молот и заготовки



Готовые детали

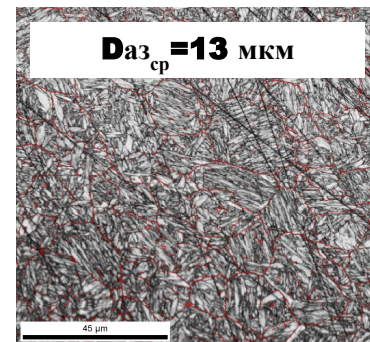
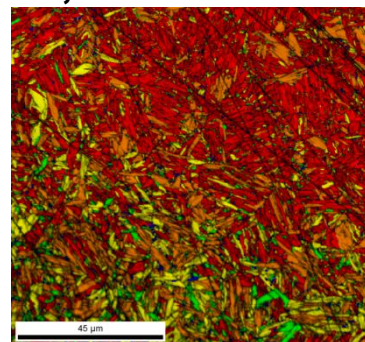
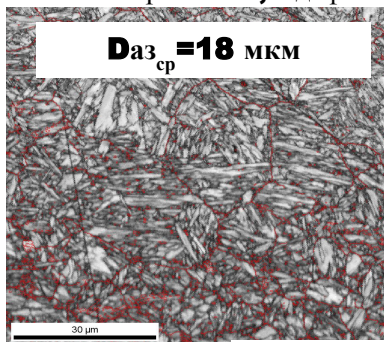
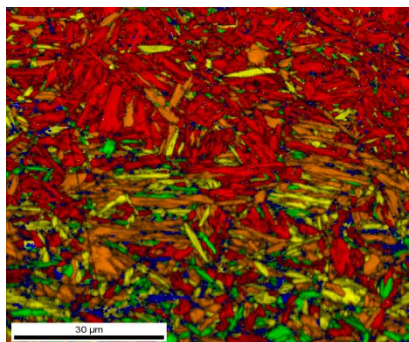


СТРУКТУРА И ТВЕРДОСТЬ ОСТРОЙ КРОМКИ ДЕТАЛЕЙ ПОСЛЕ ШТАМПОВКИ

Б1200

$T_{нагр}=1190$, $T_{деф}=1000$, $деф=20 \times 5$, **75%**, **3+0**

Б1500



Color Coded Map Type: Grain Average Misorientation

Min	Max	Total Fraction	Partition Fraction
0	0.4	0.065	0.065
0.4	0.55	0.070	0.070
0.55	0.7	0.135	0.135
0.7	0.85	0.230	0.230
0.85	5	0.485	0.485

Boundaries: Rotation Angle
 Min Max Fraction Number Length
 20° 50° 0.187 22367 3.23 mm

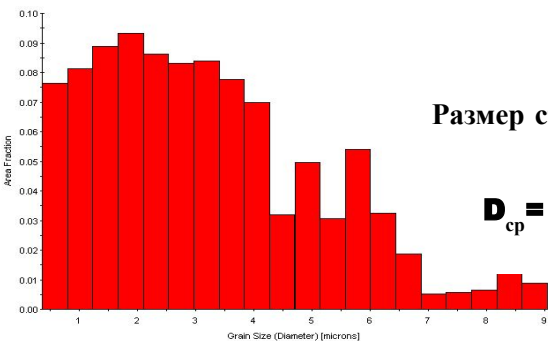
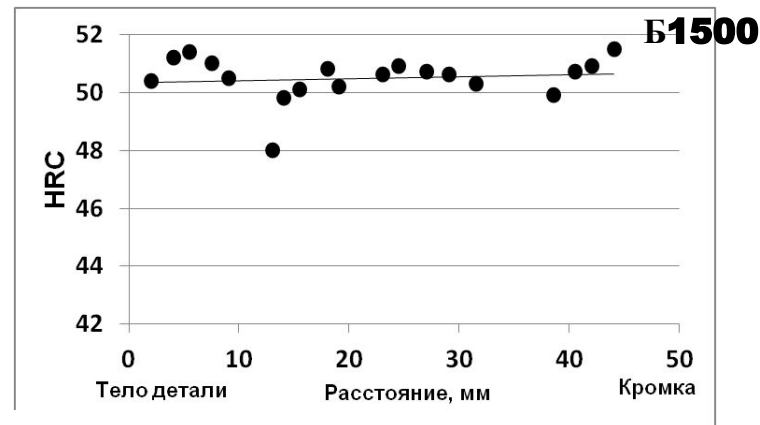
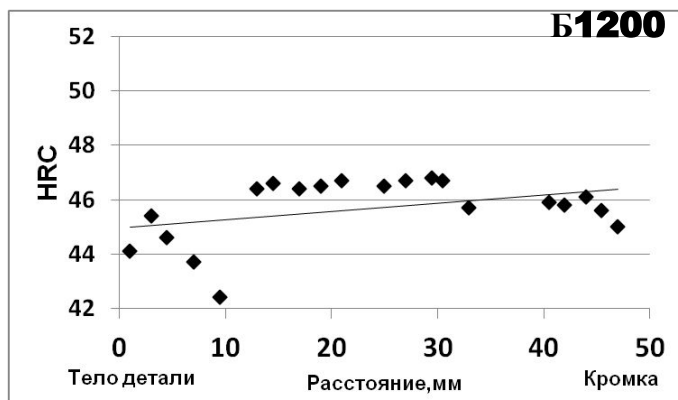
Твердость, HRC
 в теле детали и в кромке

Color Coded Map Type: Grain Average Misorientation

Min	Max	Total Fraction	Partition Fraction
0	0.4	0.025	0.025
0.4	0.55	0.048	0.048
0.55	0.7	0.166	0.166
0.7	0.85	0.256	0.256
0.85	5	0.497	0.497

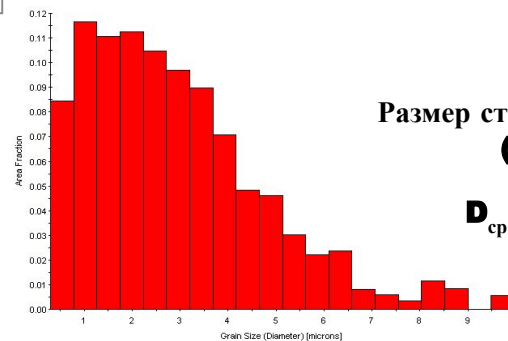
Boundaries: Rotation Angle
 Min Max Fraction Number Length
 20° 50° 0.097 31371 3.62 mm

Твердость, HRC
 в теле детали и в кромке



Размер структурного элемента
 (пакет рек)

$D_{ср} = 3,21$ мкм
 $\Theta = 5^\circ$



Размер структурного элемента
 (пакет рек)

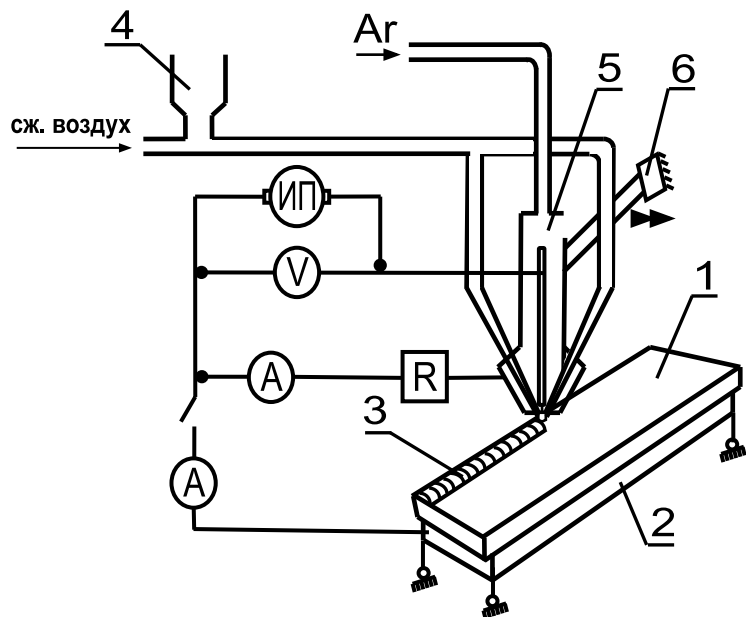
$D_{ср} = 2,92$ мкм
 $\Theta = 5^\circ$

Обобщенные результаты структурных исследований

Обработка	Марка стали	Тдеф, °С	Тзак, °С	Средний размер аустенитного зерна, мкм	Средний размер структурного элемента, мкм	Доля искаженности структуры, %
моделирование	Б1500	1100	-	15	2,0	41
			900	40	4,0	70
		950	-	8	1,5	76
			900	12	2,5	40
в промышленных условиях	Б1500	1070	900	13	2,9	75
	Б1200		низкий отпуск	18	3,2	71

ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ. ПЛАЗМЕННАЯ НАПЛАВКА

установка плазменной дуговой наплавки



- 1 – наплавляемая деталь;
2 – механизм перемещения;
3 – наплавляемый слой;
4 – дозатор;
5 – водоохлаждаемый
плазматрон;
6 – вибратор;
ИП – источник питания;
R – балластный реостат

Порошок:
ПГ-ФБЧ-6-2+(WC-25-38%)

Форма частиц	Сферическая или остроугольная
Размерность, мкм	63...630
Твердость, HRC	57...65
Fe	Основа
C, %	4,0+4,6
Cr, %	32+35
B, %	1,5+1,8
WC, %	25+38

Характеристики технологического процесса

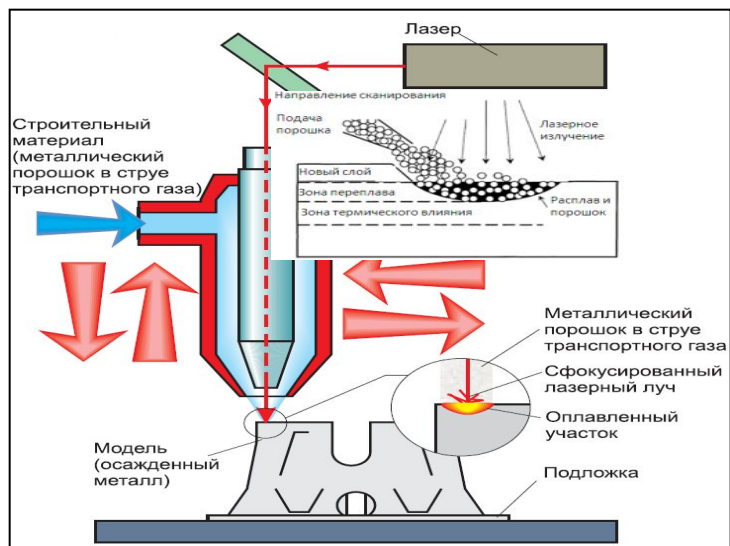
Скорость наплавки слоя шириной 20 мм	4+7 мм/сек
Эффективная толщина покрытия	1,1+3,7 мм
Производительность по наносимому материалу	12+110 г/мин (0,72+6,6 кг/час)
Себестоимость нанесения 1 дм ² толщиной от 1,1 до 3,7 мм	240+780 руб.

Исследовательские испытания покрытий

Маркировка образца	Толщина покрытия, мм	Наименьшее значение твердости, HRC	Адгезионная прочность, МПа
БП1	1,4	59	24,8
БН2	1,9	58	23,2
БП3	2,3	58	22,0
БП4	2,9	59	21,0
БП5	3,2	59	20,5
Требования	1,2-3,6	≥ 58	≥ 20

ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ. ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА

установка для лазерной наплавки **LENS 750**



Режимы лазерной наплавки:

Параметр наплавки	Значение параметра
Толщина наплавки	от 0,8 до 5,0 мм
Расход порошка	0,0185 грамм/с
Ширина полосы сканирования	900-1200 мм
Диаметр пятна излучения	0,2 мм
Мощность излучения, Вт	340-460
Скорость сканирования, м/с	0,0074-0,0222

Исследовательские испытания покрытий

Маркировка образца	W, Вт	V сканир, м/с	Толщина покрытия, мм	Наименьшее значение твердости, HRC	Адгезионная прочность, МПа
M2.2	460	0,0074	2,9	63	810
M2.5	460	0,0148	2,7	63	610
M2.7	460	0,0222	3,5	62	420
M2.11	400	0,0074	1,5	63	840
M2.12	400	0,0148	1,6	61	820
M2.13	400	0,0222	1,6	61	630
M2.14	340	0,0074	1,3	62	610
M2.16	340	0,0148	1,7	62	490
M2.17	340	0,0222	1,2	58	460
Требования			0,8-5,0	≥ 56	≥ 20

Порошок: M2 (Бельгия)

Размерность, мкм	53-150
Форма частиц	сфера
Твердость, HRC	63
Fe	база
C	1
Cr	4
Mo	5
W	6,2
V	2

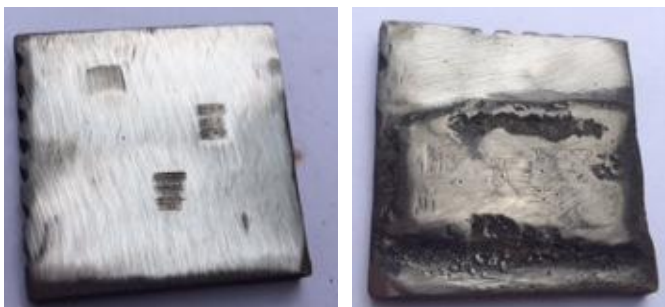
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА



Абразив – электрокорунд, грануляцией **40-80** мкм.
нагрузка на ролик – **100** г. Цикл испытаний – **30** мин.
Нормативный документ: ГОСТ **23.208-79**

$$**K = \frac{\sum g_o}{\sum g_n}$$

Марка стали	Толщина, мм	Твердость HRC	Коэффициент относительной износостойкости K**
Сталь 45 (эталон 1)	6	39-42	1
Сталь 30ХГСА (эталон 2)	6	43-46	1,05
Сталь «1200»	6	48-49	1,21
	12	48-49	1,25
	18	49-50	1,27
Сталь «1500»	6	50-52	1,54
	12	49-50	1,39
	18	48-49	1,36
Сталь «1700»	6	55-56	1,59
	18	54-55	1,83
Лазерная наплавка	1,2-3,6	56-65	3,82-4,35
Плазмен. наплавка	0,8-5,0	58-65	3,59-5,33



Прибор **ИМ-01** для испытаний на износостойкость и испытанные образцы

Испытания проводились на оборудовании исполнителя в ФГБНУ ВИМ

Испытания на износостойкость образцов, изготовленных по разработанным режимам отпуска, подтвердили обеспечение необходимых требований, которые превышают износостойкость эталона из стали **45** в **1,2-2** раза.

Испытания в полевых условиях



Вид нового и изношенного накладных долот лемехов
Сталь Б1500 до и после наработки 8 га в
СПК «Кузьминский».



Вид ненаплавленного (слева) и наплавленного (справа) лемехов
Сталь Б1500 после наработки 5 га на корпус
(СПК «Кузьминский»).

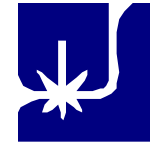
Обобщенные результаты натуральных испытаний опытных деталей сельхозмашин

№ п/п	Наименование испытуемой детали, вид упрочнения	Марка стали (твердость)	Наименование аналога (твердость)	Место испытания	Ресурс
1	Накладное долото отечественного эвольвентного лемеха плуга с плазменной наплавкой	Б1700, (HRC 53...57)	30ХГСА (HRC 44...48)	СПК «Кузьминский» (Моск. обл.).	Выше в 1,72 раза
2	Накладное долото эвольвентного лемеха плуга с плазменной наплавкой	Б 1500 (HRC 50...52)	30ХГСА (HRC 44...47)	СПК «Кузьминский» (Моск. обл.).	Выше в 1,56 раз
3	Долото лемеха оборотного плуга «Лемкен» с плазменной наплавкой	Б1700 (HRC 53...57)	Зарубежная сталь (фирма «Мольбро», Дания) (HRC 50...52)	СПК «Кузьминский» (Моск. обл.).	Выше в 1,36 раза
4	Долото лемеха оборотного плуга «Лемкен» (ФРГ) с плазменной наплавкой	Б 1500 (HRC 50...52)	Зарубежная сталь (фирма «Мольбро», Дания) (HRC 50...52)	СПК «Кузьминский» (Моск. обл.).	Выше в 1,15 раза
5	Долото (наральник, лапа) агрегата «СМААГД» с плазменной наплавкой	Б1500 (HRC 50...53)	30ХГСА (HRC 44...48) с плазменной наплавкой	ООО «Рамень» (Моск. обл.).	Выше в 1,4...1,8 раза

Заключение

- Разработан химический состав новых высокопрочных износостойких сталей с пределом текучести 1200, 1500 и 1700 МПа для деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин.
- Установлено, что основным процессом при горячей пластической деформации со скоростями 1 и 100 с⁻¹, формирующим мелкозернистый аустенит, является статическая рекристаллизация. Статическая рекристаллизация при горячей прокатке в интервале температур 950-1050°С (скорость деформации 1 с⁻¹) завершается за время от 4 до 30 сек, что сопоставимо с паузами между последовательными обжатиями при горячей прокатке. При горячей штамповке на молоте (скорость деформации 100 с⁻¹) статическая рекристаллизация завершается за время 6-11 секунд после окончания деформации, предшествующее извлечению заготовки из штампа.
- Структура закаленной стали представлена преимущественно реечным мартенситом с шириной рейки 100-200 нм и плотностью дислокаций около $5 \times 10^{14} \text{ м}^{-2}$, пластинчатым мартенситом с пластинами размером ~1 мкм и небольшой долей двойникового мартенсита, которая увеличивается от 5 до 20% при повышении легирования стали. После отпуска при 150°С количество и размер дисперсных частиц в пластинчатом мартенсите составляет 13-56 нм, а их объёмная плотность выше в наиболее легированной стали и составляет $220 \times 10^{20} \text{ м}^{-3}$. После отпуска при 300°С плотность дислокаций изменяется мало, размер карбидов в пластинчатом мартенсите увеличивается до 164 нм, а их объёмная плотность снижается в несколько раз. Внутри реек дислокационного мартенсита обнаружены дисперсные карбиды размером 7 – 43 нм с объёмной плотностью до $13 \times 10^{20} \text{ м}^{-3}$, по границам реек – протяженные карбиды размером 40-180 нм.
- Наиболее высокие механические свойства формируются после отпуска при температуре 150 - 250°С для стали марок «1500» и «1700», а для стали «1200» – при 200 - 300°, когда в стали формируются дисперсные метастабильные промежуточные карбиды и карбиды цементитного типа внутри пластин и реек мартенсита.
- Показано, что формирование зернограничного цементита, в том числе обусловленное распадом остаточного аустенита, оказывает охрупчивающее влияние и не позволяет обеспечить высокие значения ударной вязкости после отпуска при температурах, выше указанных.
- Полученные значения твердости и износостойкости после закалки и низкого отпуска свидетельствуют о высокой способности стали в состоянии поставки противостоять абразивному изнашиванию, что положительно повлияет на эксплуатационный ресурс деталей и элементов конструкций, изготовленных из разработанных сталей.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ



“Прометей”

”



Российская Федерация, 191015,
Санкт-Петербург,
ул. Шпалерная, д. 49
Тел.: (812) 274-37-96
Факс: (812) 710-37-56
E-mail: mail@CRISM.ru
www.crism-prometey.ru

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ !**

Контактная информация:

Рябов Вячеслав Викторович

Инженер 1 категории. Лаборатории №32 НПК-3 ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей»

e-mail: zzz109@yandex.ru

Тел.: 8(911)-940-87-51