



URZĄD DOZORU  
TECHNICZNEGO

# WYTYCZNE URZĘDU DOZORU TECHNICZNEGO NR 1/UC/2015/2 - AKTUALIZACJA 2025

ZASADY DIAGNOSTYKI I OCENY TRWAŁOŚCI EKSPLOATACYJNEJ ELEMENTÓW KOTŁÓW  
I RUROCIĄGÓW PRACUJĄCYCH W WARUNKACH PEŁZANIA

**ZAŁĄCZNIKI**





## ZAŁĄCZNIK A:

- Propozycje doboru metod badawczych i częstotliwości badań w trybie nadzoru standardowego dla wybranych elementów kotłów i rurociągów pracujących w warunkach pełzania

### WYKAZ TABLIC:

L.p.	Nr tablicy	Opis
1	A.1	Propozycje doboru metod badawczych i częstotliwości badań w trybie nadzoru standardowego dla węzownic przegrzewacza pary pracujących w warunkach pełzania
2	A.2	Propozycje doboru metod badawczych i częstotliwości badań w trybie nadzoru standardowego dla rurociągów komunikacyjnych pracujących w warunkach pełzania
3	A.3	Propozycje doboru metod badawczych i częstotliwości badań w trybie nadzoru standardowego dla komór przegrzewaczy pary pracujących w warunkach pełzania
4	A.4	Propozycje doboru metod badawczych i częstotliwości badań w trybie nadzoru standardowego dla komór schładzaczy pary pracujących w warunkach pełzania
5	A.5	Propozycje doboru metod badawczych i częstotliwości badań w trybie nadzoru standardowego dla głównych rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania

**Tablica A.1.** Propozycje doboru metod badawczych i częstotliwości badań w trybie nadzoru standardowego dla **wężownic przegrzewacza pary** pracujących w warunkach pełzania ( $T_o > T_g$ )

Badany element	Oględziny	Endos- kopia	Pomiary odkształ- ceń	Pomiary grubości	Badania twardości	Badania RT	Badania UT	Badania MT	Badania mikrostruktury + badania twardości	Pierwsze kompleksowe badania diagnostyczne i ocena możliwości dalszej pracy	Kompleksowe badania niszczące i wyznaczenie bezpiecznego czasu dalszej pracy <sup>1)</sup>
odcinki proste i kolana	co 30 tys. h	-	co 30 tys. h	-	co 30 tys. h	-	-	-	Zgłady metalo- graficzne maks. po 95 tys. h <sup>3)</sup> Następne badania – <sup>4)</sup>	gdy $t_o = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_o = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania - czas wg dokonanej oceny	gdy $t_o = 100$ tys. h maks. po 150 tys. h gdy $t_o = 200$ tys. h maks. po 210 tys. h Na- stępne badania- czas wg dokonanej oceny <sup>2)</sup>
króćce	co 30 tys.h	-	-	-	-	-	-	co 60 tys. h złącza kątowe	-	gdy $t_o = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_o = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania- czas wg dokonanej oceny	
złącza spawane	co 30 tys. h	-	-	-	-	nowe i po remontach	-	-	-	gdy $t_o = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_o = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania- czas wg dokonanej oceny	

<sup>1)</sup> Badania mikrostruktury i właściwości mechanicznych, w tym skrócone próby pełzania;

<sup>2)</sup> Na reprezentatywnych wycinkach wężownic, w tym skrócone próby pełzania dla jednego wybranego wycinka spośród nich o największym oszacowanym stopniu wyczerpania;

<sup>3)</sup> Dotyczy przypadku obliczeniowego czasu pracy  $t_o = 200$  tys. h;

<sup>4)</sup> W zależności od uzyskanych wyników - podczas pierwszych kompleksowych badań diagnostycznych lub po czasie krótszym wg dokonanej oceny;

**Tablica A.2.** Propozycje doboru metod badawczych i częstotliwości badań w trybie nadzoru standardowego dla **rurociągów komunikacyjnych** pracujących w warunkach pełzania ( $T_o > T_g$ )

Badany element	Oględziny <sup>2)</sup>	Endoskopia	Pomiary odkształceń	Pomiary grubości	Badania twardości	Badania RT	Badania UT	Badania MT	Badania mikrostruktury + badania twardości	Pierwsze kompleksowe badania diagnostyczne i ocena możliwości dalszej pracy	Kompleksowe badania niszczące i wyznaczenie bezpiecznego czasu dalszej pracy <sup>1)</sup>
odcinki proste	po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy	-	co 30 tys. h	-	co 50 tys. h	-	-	-	repliki matrycowe maks. po 120 tys. h <sup>3)</sup> Następne badania – <sup>4)</sup>	gdy $t_o = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_o = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania-czas wg dokonanej oceny	
kolana	po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy	-	jednorazowy pomiar owalizacji	co 100 tys. h	co 50 tys. h	-	-	co 50 tys. h	repliki matrycowe maks. po 120 tys. h <sup>3)</sup> Następne badania – <sup>4)</sup>	gdy $t_o = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_o = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania-czas wg dokonanej oceny	gdy $t_o = 100$ tys. h maks. po 150 tys. h gdy $t_o = 200$ tys. h maks. po 210 tys. h na wybranym reprezentatywnym kolanie; Następne badania-czas wg dokonanej oceny
złącza spawane	-	-	-	-	co 50 tys. h	-	co 60 tys. h a po 120 tys. h co 30 tys. h	-	-	gdy $t_o = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_o = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania-czas wg dokonanej oceny	

<sup>1)</sup> Badania mikrostruktury i właściwości mechanicznych, w tym skrócone próby pełzania;

<sup>2)</sup> W tym kontrola zawiesznień, podparć i spadków rurociągów;

<sup>3)</sup> Dotyczy przypadku obliczeniowego czasu pracy  $t_o = 200$  tys. h;

<sup>4)</sup> W zależności od uzyskanych wyników - podczas pierwszych kompleksowych badań diagnostycznych lub po czasie krótszym wg dokonanej oceny;

**Tablica A.3.** Propozycje doboru metod badawczych i częstotliwości badań w trybie nadzoru standardowego dla **komór przegrzewaczy pary** pracujących w warunkach pełzania ( $T_o > T_g$ )

Badany element	Oględziny	Endoskopia	Pomiary odkształceń	Pomiary grubości	Badania twardości	Badania RT	Badania UT	Badania MT	Badania mikrostruktury + badania twardości	Pierwsze kompleksowe badania diagnostyczne i ocena możliwości dalszej pracy	Kompleksowe badania niszczące i wyznaczenie bezpiecznego czasu dalszej pracy <sup>1)</sup>
płaszcz	-	co 60 tys. h a po 120 tys. h co 30 tys. h	co 30 tys. h na czopach pomiar.	co 30 tys. h	co 60 tys. h	-	-	-	repliki matrycowe maks. po 120 tys. h <sup>2)</sup> Następne badania – <sup>3)</sup>	gdy $t_o = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_o = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania- czas wg dokonanej oceny	gdy $t_o = 100$ tys. h maks. po 150 tys. h gdy $t_o = 200$ tys. h maks. po 210 tys. h Następne badania- czas wg dokonanej oceny
złącza spawane	-	-	-	-	-	nowe i po naprawie	-	co 60 tys. h a po 120 tys. h co 30 tys. h	repliki matrycowe maks. po 120 tys. h <sup>2)</sup> Następne badania –  )	gdy $t_o = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_o = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania- czas wg dokonanej oceny	
króćce	-	-	-	-	-	-	-	co 60 tys. h	-	gdy $t_o = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_o = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania- czas wg dokonanej oceny	
mostki	-	-	-	-	-	-	-	co 60 tys. h a po 120 tys. h co 30 tys. h	-	gdy $t_o = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_o = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania- czas wg dokonanej oceny	
otwory	-	co 60 tys. h a po 120 tys. h co 30 tys. h	co 60 tys. h a po 120 tys. h co 30 tys. h	-	-	-	-	-	-	gdy $t_o = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_o = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania- czas wg dokonanej oceny	

<sup>1)</sup> Badania mikrostruktury i właściwości mechanicznych, w tym próba pełzania dla wyznaczenia prędkości pełzania dla wybranych komór wylotowych wyższych stopni przegrzewu;

<sup>2)</sup> Dotyczy przypadku obliczeniowego czasu pracy  $t_o = 200$  tys. h;

<sup>3)</sup> W zależności od uzyskanych wyników - podczas pierwszych kompleksowych badań diagnostycznych lub po czasie krótszym wg dokonanej oceny;

**Tablica A.4.** Propozycje doboru metod badawczych i częstotliwości badań w trybie nadzoru standardowego dla **komór schładzaczy pary** pracujących w warunkach pełzania ( $T_0 > T_g$ )

Badany element	Oględziny	Endoskopia	Pomiary odkształceń	Pomiary grubości	Badania twardości	Badania RT	Badania UT	Badania MT	Badania mikrostruktury + badania twardości	Pierwsze kompleksowe badania diagnostyczne i ocena możliwości dalszej pracy	Pierwsze kompleksowe badania niszczące i wyznaczenie bezpiecznego czasu dalszej pracy <sup>1)</sup>
plaszcz	-	co 30 tys. h	co 30 tys. h	co 60 tys. h	co 60 tys. h	-	-	-	repliki matrycowe maks. po 120 tys. h <sup>2)</sup> Następne badania – <sup>3)</sup>	gdy $t_0 = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_0 = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania - czas wg dokonanej oceny	<b>zalecane</b> gdy $t_0 = 100$ tys. h maks. po 150 tys. h gdy $t_0 = 200$ tys. h maks. po 210 tys. h <sup>1)</sup> Następne badania - czas wg dokonanej oceny
złącza spawane	-	-	-	-	-	nowe i po remontach	co 30 tys. h	co 60 tys. h a po 120 tys. h co 30 tys. h	repliki matrycowe maks. po 120 tys. h <sup>2)</sup> Następne badania – <sup>3)</sup>	gdy $t_0 = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_0 = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania - czas wg dokonanej oceny	
króćce	-	-	-	-	-	-	-	co 60 tys. h	-	gdy $t_0 = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_0 = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania - czas wg dokonanej oceny	
otwory	-	co 50 tys. h a po 100 tys. h co 20 tys. h	co 50 tys. h a po 100 tys. h co 20 tys. h	-	-	-	-	-	-	gdy $t_0 = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_0 = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania - czas wg dokonanej oceny	

<sup>1)</sup> Zaleca się badania mikrostruktury i właściwości mechanicznych, w tym próbę pełzania w celu wyznaczenia prędkości dla wybranych schładzaczy wyższych stopni przegrzewu;

<sup>2)</sup> Dotyczy przypadku obliczeniowego czasu pracy  $t_0 = 200$  tys. h;

<sup>3)</sup> W zależności od uzyskanych wyników - podczas pierwszych kompleksowych badań diagnostycznych lub po czasie krótszym wg dokonanej oceny;

**Tablica A.5.** Propozycje doboru metod badawczych i częstotliwości badań w trybie nadzoru standardowego dla **głównych rurociągów parowych** pracujących w warunkach pełzania.

Badany element	Oględziny <sup>2)</sup>	Endoskopia	Pomiary odkształceń	Pomiary grubości	Badania twardości	Badania RT	Badania UT	Badania MT	Badania mikrostruktury + badania twardości	Pierwsze kompleksowe badania diagnostyczne i ocena możliwości dalszej pracy	Pierwsze kompleksowe badania niszczące i wyznaczenie bezpiecznego czasu dalszej pracy <sup>1)</sup>
odcinki proste	po 100 tys. h i następnie czas wg dokonanej oceny	-	co 30 tys. h na czopach pomiarowych	po 120 tys. h	co 60 tys. h	-	-	-	repliki matrycowe maks. po 120 tys. h <sup>3)</sup> Następne badania – <sup>4)</sup>	gdy $t_0 = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_0 = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania - czas wg dokonanej oceny	gdy $t_0 = 100$ tys. h maks. po 150 tys. h gdy $t_0 = 200$ tys. h maks. po 210 tys. h następne czas wg dokonanej oceny <sup>1)</sup>
kolana	po 100 tys. h i następnie czas wg dokonanej oceny -	-	jednorazowy pomiar owalizacji	po 120 tys. h	co 60 tys. h	-	-	co 30 tys. h	repliki matrycowe maks. po 120 tys. h <sup>3)</sup> Następne badania – <sup>4)</sup>	gdy $t_0 = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_0 = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania - czas wg dokonanej oceny	gdy $t_0 = 100$ tys. h maks. po 150 tys. h gdy $t_0 = 200$ tys. h maks. po 210 tys. h następne czas wg dokonanej oceny <sup>1)</sup>
złącza spawane	-	-	-	-	po 120 tys. h i następnie czas wg dokonanej oceny	-	co 60 tys. h a po 120 tys. h co 30 tys. h	-	repliki matrycowe maks. po 120 tys. h <sup>3)</sup> Następne badania – <sup>4)</sup>	gdy $t_0 = 100$ tys. h maks. po 95 tys. h gdy $t_0 = 200$ tys. h maks. po 190 tys. h Następne badania - czas wg dokonanej oceny	

<sup>1)</sup> Badania mikrostruktury i właściwości mechanicznych, w tym skrócone próby pełzania

<sup>2)</sup> W tym kontrola zawieszzeń, podparć i spadków rurociągów

<sup>3)</sup> Dotyczy przypadku obliczeniowego czasu pracy  $t_0 = 200$  tys. h;

<sup>4)</sup> W zależności od uzyskanych wyników - podczas pierwszych kompleksowych badań diagnostycznych lub po czasie krótszym wg dokonanej oceny;



## ZAŁĄCZNIK B:

- Rysunki opisujące modele degradacji oraz klasę mikrostruktury
- Tablice umożliwiające wyznaczenie okresu dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy struktury
- Tablice zawierające przykłady oceny stanu struktur
- Tablica opisująca trafność oceny oraz prognozę dalszej bezpiecznej eksploatacji materiału elementu w zależności od klasy struktury, klasy wewnętrznych uszkodzeń oraz zastosowanych metod badawczych
- Rysunki opisujące przykład oceny stanu materiału głównego rurociągu parowego

**WYKAZ RYSUNKÓW I TABLIC:**

L.p.	Nr rys.	Nr tab.	Zastosowanie	Rodzaj stali/staliwa
1	B.1		Model degradacji struktury bez uszkodzeń wewnętrznych	16Mo3 (16M)
2	B.2		Klasa mikrostruktury bez uszkodzeń wewnętrznych w odniesieniu do stopnia wyczerpania	16Mo3 (16M)
3		B.1	Okres dopuszczenia do eksploatacji w zależności od klasy struktury	16Mo3 (16M)
4		B.2	Przykłady oceny stanu mikrostruktury	16Mo3 (16M)
5	B.3		Model degradacji struktury bez uszkodzeń wewnętrznych	13CrMo4-5 (15HM)
6	B.4		Klasa mikrostruktury bez uszkodzeń wewnętrznych w odniesieniu do stopnia wyczerpania	13CrMo4-5 (15HM)
7		B.3	Okres dopuszczenia do eksploatacji w zależności od klasy struktury	13CrMo4-5 (15HM)
8		B.4	Przykłady oceny stanu mikrostruktury	13CrMo4-5 (15HM)
9	B.5		Model degradacji struktury bez uszkodzeń wewnętrznych	10CrMo9-10 (10H2M)
10	B.6		Klasa mikrostruktury bez uszkodzeń wewnętrznych w odniesieniu do stopnia wyczerpania	10CrMo9-10 (10H2M)
11		B.5	Okres dopuszczenia do eksploatacji w zależności od klasy struktury	10CrMo9-10 (10H2M)
12		B.6	Przykłady oceny stanu mikrostruktury	10CrMo9-10 (10H2M)
13	B.7		Model degradacji struktury bez uszkodzeń wewnętrznych	14MoV6-3 (13HMF)
14	B.8		Klasa mikrostruktury bez uszkodzeń wewnętrznych w odniesieniu do stopnia wyczerpania	14MoV6-3 (13HMF)
15		B.7	Okres dopuszczenia do eksploatacji w zależności od klasy struktury	14MoV6-3 (13HMF)
16		B.8	Przykłady oceny stanu mikrostruktury	14MoV6-3 (13HMF)
17	B.9		Model degradacji struktury bez uszkodzeń wewnętrznych	L17HMF i L21HMF
18	B.10		Klasa mikrostruktury bez uszkodzeń wewnętrznych w odniesieniu do stopnia wyczerpania	L17HMF i L21HMF
19		B.9	Okres dopuszczenia do eksploatacji w zależności od klasy struktury bez uszkodzeń wewnętrznych	L17HMF i L21HMF
20		B.10	Przykłady oceny stanu mikrostruktury bez uszkodzeń wewnętrznych	L17HMF i L21HMF
21	B.11		Model degradacji struktury bez uszkodzeń wewnętrznych	7CrWVMoNb9-6 (T23)
22	B.12		Klasa mikrostruktury bez uszkodzeń wewnętrznych w odniesieniu do stopnia wyczerpania	7CrWVMoNb9-6 (T23)
23		B.11	Okres dopuszczenia do eksploatacji w zależności od klasy struktury	7CrWVMoNb9-6 (T23)
24		B.12	Przykłady oceny stanu mikrostruktury	7CrWVMoNb9-6 (T23)
25	B.13		Model degradacji struktury bez uszkodzeń wewnętrznych	7CrMoVTiB10-10 (T24)
26	B.14		Klasa mikrostruktury bez uszkodzeń wewnętrznych w odniesieniu do stopnia wyczerpania	7CrMoVTiB10-10 (T24)
27		B.13	Okres dopuszczenia do eksploatacji w zależności od klasy struktury	7CrMoVTiB10-10 (T24)
28		B.14	Przykłady oceny stanu mikrostruktury	7CrMoVTiB10-10 (T24)
29	B.15		Model degradacji struktury bez uszkodzeń wewnętrznych	X20CrMoV11-1 (20H12M1F)
30	B.16		Klasa mikrostruktury bez uszkodzeń wewnętrznych w odniesieniu do stopnia wyczerpania	X20CrMoV11-1 (20H12M1F)

**WYKAZ RYSUNKÓW I TABLIC:**

L.p.	Nr rys.	Nr tab.	Zastosowanie	Rodzaj stali/staliwa
31		B.15	Okres dopuszczenia do eksploatacji w zależności od klasy struktury bez uszkodzeń wewnętrznych	X20CrMoV11-1 (20H12M1F)
32		B.16	Przykłady oceny stanu mikrostruktury bez uszkodzeń wewnętrznych	X20CrMoV11-1 (20H12M1F)
33	B.17		Model degradacji struktury bez uszkodzeń wewnętrznych	X10CrMoVNb9-1 (T/P91)
34	B.18		Klasa mikrostruktury bez uszkodzeń wewnętrznych w odniesieniu do stopnia wyczerpania	X10CrMoVNb9-1 (T/P91)
35		B.17	Okres dopuszczenia do eksploatacji w zależności od klasy struktury bez uszkodzeń wewnętrznych	X10CrMoVNb9-1 (T/P91)
36		B.18	Przykłady oceny stanu mikrostruktury bez uszkodzeń wewnętrznych	X10CrMoVNb9-1 (T/P91)
37	B.19		Model degradacji struktury bez uszkodzeń wewnętrznych	X10CrWMoVNb9-2 (T/P92)
38	B.20		Klasa mikrostruktury bez uszkodzeń wewnętrznych w odniesieniu do stopnia wyczerpania	X10CrWMoVNb9-2 (T/P92)
39		B.19	Okres dopuszczenia do eksploatacji w zależności od klasy struktury bez uszkodzeń wewnętrznych	X10CrWMoVNb9-2 (T/P92)
40		B.20	Przykłady oceny stanu mikrostruktury bez uszkodzeń wewnętrznych	X10CrWMoVNb9-2 (T/P92)
41	B.21		Model degradacji struktury bez uszkodzeń wewnętrznych	X12CrCoWVNb12-2-2 (VM12-SHC)
42	B.22		Klasa mikrostruktury bez uszkodzeń wewnętrznych w odniesieniu do stopnia wyczerpania	X12CrCoWVNb12-2-2 (VM12-SHC)
43		B.21	Okres dopuszczenia do eksploatacji w zależności od klasy struktury bez uszkodzeń wewnętrznych	X12CrCoWVNb12-2-2 (VM12-SHC)
44		B.22	Przykłady oceny stanu mikrostruktury bez uszkodzeń wewnętrznych	X12CrCoWVNb12-2-2 (VM12-SHC)
45	B.23		Klasy struktury w wyniku rozwoju uszkodzeń wewnętrznych w zależności od stopnia wyczerpania	Stale ferrytyczno-perlityczne oraz ferrytyczno – bainityczne
46		B.23	Okres dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy wewnętrznych uszkodzeń w wyniku pełzania	Stale ferrytyczno-perlityczne oraz ferrytyczno – bainityczne
46		B.24	Przykłady oceny stanu uszkodzeń wewnętrznych po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania	Stale ferrytyczno-perlityczne oraz ferrytyczno – bainityczne
48	B.24		Klasyfikacja struktury w wyniku rozwoju uszkodzeń wewnętrznych w zależności od stopnia wyczerpania	Stale o zawartości chromu 9-12%
49		B.25	Okres dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy wewnętrznych uszkodzeń w wyniku pełzania	Stale o zawartości chromu 9-12%
50		B.26	Przykłady oceny stanu uszkodzeń wewnętrznych po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania	Stale o zawartości chromu 9-12%
51		B.27	Okres dopuszczenia do dalszej eksploatacji materiału strefy wpływu ciepła i spoiny w zależności od klasy struktury i klasy uszkodzeń wewnętrznych w wyniku pełzania	
52		B.28	Przykłady oceny stanu uszkodzeń wewnętrznych w elementach złączy spawanych po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania	
53		B.29	Trafność oceny oraz prognoza dalszej bezpiecznej eksploatacji materiału elementu w zależności od klasy struktury, klasy wewnętrznych uszkodzeń oraz zastosowanych metod badawczych	
54	B.25		Przykład zbiorczej oceny stanu materiału głównego rurociągu parowego	13HMF
55	B.26		Przykład zbiorczej oceny stanu materiału złączy spawanych głównego rurociągu parowego.	13HMF

Niniejszy załącznik zawiera modele degradacji mikrostruktury stali i staliw pracujących w warunkach pełzania elementów ciśnieniowych kotłów energetycznych, będących przedmiotem wytycznych. Modele zamieszczone na rysunkach B.1, B.3, B.5, B.7, B.9, B.11, B.13, B.15, B.17, B.19, B.21 obejmują stale w gat. **16Mo3, 13CrMo4-5, 10CrMo9-10, 14MoV6-3, 7CrWVMoNb9-6, 7CrMoVTiB10-10, X20CrMoV11-1, X10CrMoVNb9-1, X10CrWMoVNb9-2 i X12CrCoWVNb12-2-2** oraz staliwa w gat. **L17HMF i L21HMF**. Dla każdego z wymienionych materiałów podano klasy struktury w zależności od stanu jej podstawowych składników i stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych w powiązaniu ze stopniem wyczerpania. W postaci graficznej przedstawiono odniesienie klas mikrostruktury do stopnia wyczerpania, dokonane na podstawie oceny następujących zmian w strukturze: stopnia rozpadu obszarów perlitycznych lub bainitycznych, stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych (rys. B.2, B.4, B.6, B.8, B.10, B.12, B.14, B.16, B.18, B.20, B.22). Ponadto zaproponowano okresy dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy struktury i odpowiadającego jej stopnia wyczerpania (tablice B.1, B.3, B.5, B.7, B.9, B.11, B.13, B.15, B.17, B.19, B.21).

Dla każdego z ww. materiałów pokazano przykłady oceny ich stanu w oparciu o obserwacje mikrostruktury przeprowadzane w mikroskopie świetlnym oraz skaningowym mikroskopie elektronowym, z wykorzystaniem zgięć metalograficznych a także replik matrycowych pobieranych bezpośrednio na obiektach przemysłowych. Przykłady te obejmują stany materiału po eksploatacji bez uszkodzeń wewnętrznych w wyniku pełzania (tablice B.2, B.4, B.6, B.8, B.10, B.12, B.14, B.16, B.18, B.20, B.22).

Klasy struktury w wyniku rozwoju uszkodzeń wewnętrznych w zależności od stopnia wyczerpania w niskostopowych stalach ferrytyczno-perlitycznych: gat. **16Mo3 i 13CrMo4-5** oraz ferrytyczno-bainitycznych: gat. **10CrMo9-10, 14MoV6-3, 7CrWVMoNb9-6 i 7CrMoVTiB10-10** po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania, przedstawiono w postaci graficznej na rys. B.23.

Okresy dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy wewnętrznych uszkodzeń w wyniku pełzania w niskostopowych stalach ferrytyczno – perlitycznych oraz ferrytyczno – bainitycznych zestawiono w tablicy B.23. Przykłady oceny stanu uszkodzeń wewnętrznych w wyniku pełzania w tej grupie stali, w oparciu o obserwacje mikrostruktury przeprowadzane w mikroskopie świetlnym oraz skaningowym mikroskopie elektronowym z wykorzystaniem zgięć metalograficznych a także replik matrycowych pobieranych bezpośrednio na obiektach przemysłowych, przedstawiono w tablicy B.24.

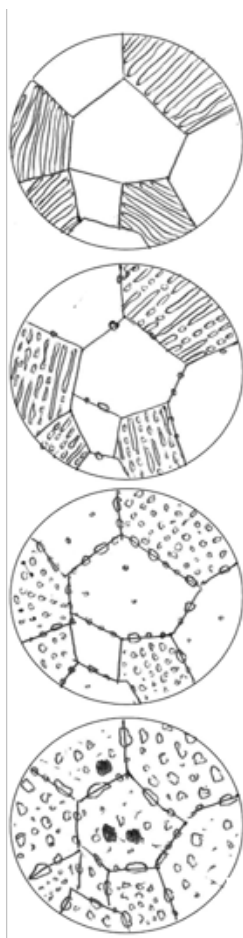
Podobne zależności zaproponowano dla grupy stali wysokochromowych o strukturze odpuszczonego martenzytu, a w szczególności najczęściej występującej w praktyce przemysłowej podczas długoletniej eksploatacji - stali gat. **X20CrMoV11-1, X10CrMoVNb9-1, X10CrWMoVNb9-2 i X12CrCoWVNb12-2-2**. Klasy struktury w wyniku rozwoju uszkodzeń wewnętrznych w zależności od stopnia wyczerpania dla tej grupy stali pokazano w postaci graficznej na rys. B.24. Okresy dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy wewnętrznych uszkodzeń w wyniku pełzania w tej grupie stali zestawiono w tablicy B.15. Przykłady oceny stanu uszkodzeń wewnętrznych w wyniku pełzania dla grupy martenzytycznych wysokochromowych stali przedstawiono w tablicy B.26.

Zaproponowane okresy dopuszczenia do dalszej eksploatacji materiału strefy wpływu ciepła i spoiny w zależności od klasy struktury oraz klasy uszkodzeń wewnętrznych w wyniku pełzania dla niskostopowych stali typu **Cr-Mo, Cr-Mo-V** zestawiono w tablicy B.27, a przykłady dokonanej oceny w tablicy B.28.

Istotną informacją jest trafność oceny w zależności od zastosowanych metod badawczych. Trafność takiej oceny oraz prognoza dalszej bezpiecznej eksploatacji materiału elementu w zależności od klasy struktury, klasy wewnętrznych uszkodzeń oraz zastosowanych metod badawczych pokazano w tablicy B.29.

Sposób przedstawienia zbiorczej oceny stanu materiału instalacji pracującej w warunkach pełzania (po czasie eksploatacji przekraczającym znacznie czas obliczeniowy) przedstawiono na rys. B.25 na przykładzie głównego rurociągu parowego wykonanego ze stali gat. **14MoV6-3 (13HMF)**. Natomiast na rys. B.26 przedstawiono przykład zbiorczej oceny stanu materiału złączy spawanych głównego rurociągu parowego wykonanego ze stali gat. **14MoV6-3 (13HMF)** po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania (po czasie eksploatacji znacznie przekraczającym czas obliczeniowy).

**Rys. B.1.** Model degradacji struktury ferrytyczno-perlitycznej stali **16Mo3 (16M)** w wyniku pełzania. Klasy struktury w zależności od stanu jej podstawowych składników i stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych w powiązaniu ze stopniem wyczerpania bez wewnętrznych uszkodzeń.

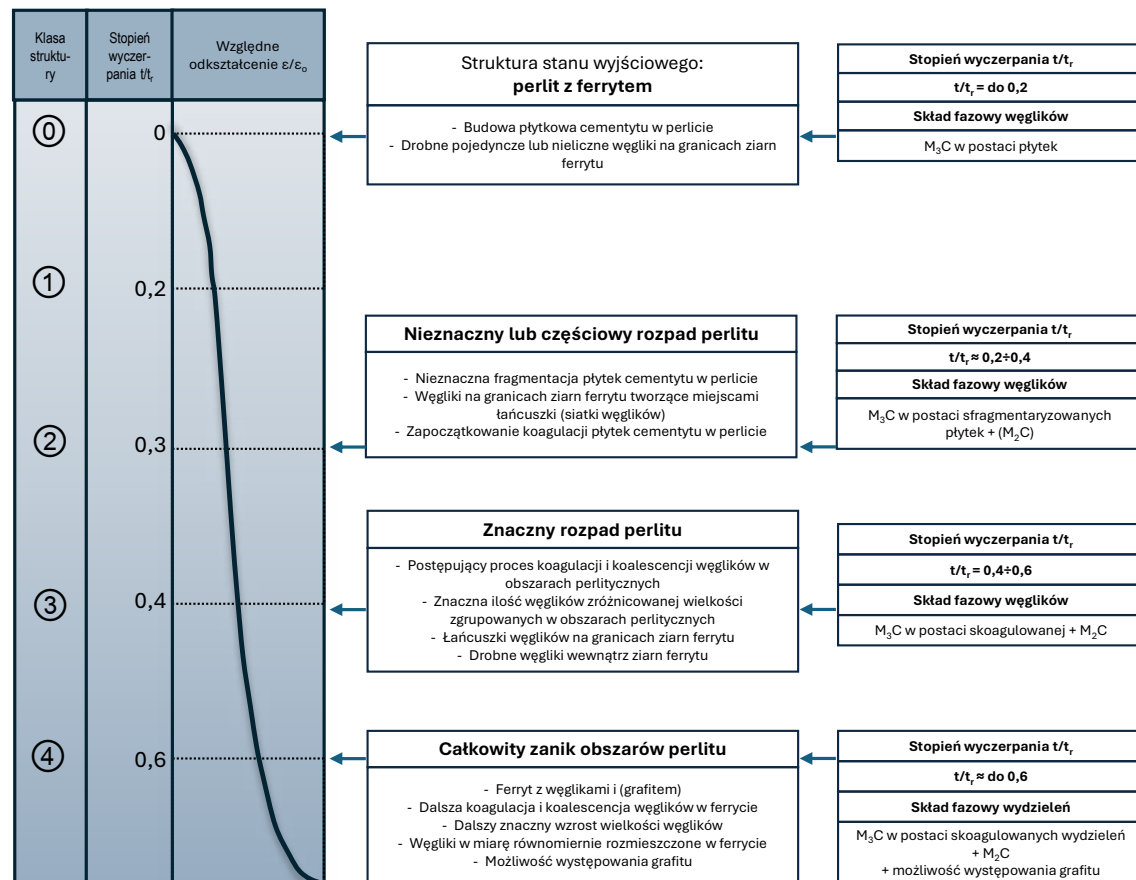


**Klasa 0**  
płytki cementytu w perlicie, brak wydzielań na granicach i wewnątrz ziarn ferrytu

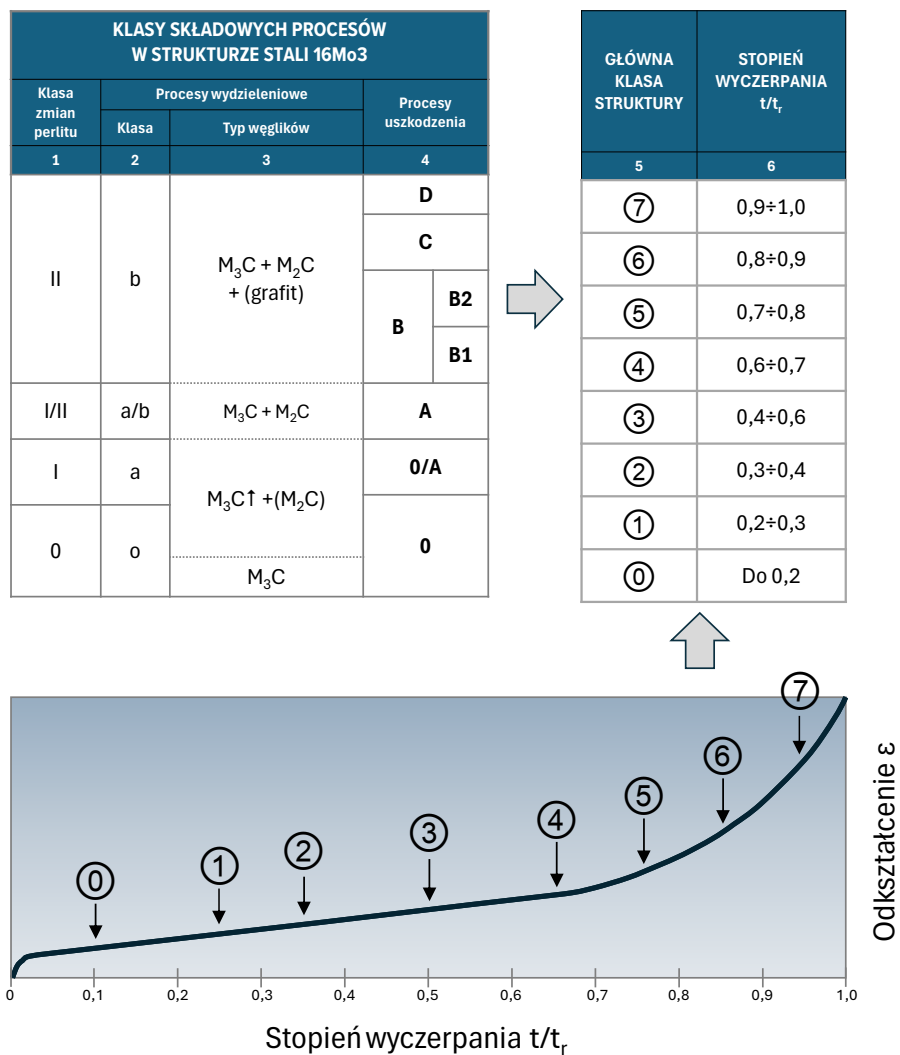
**Klasa 1,2**  
fragmentacja płytek cementytu w perlicie z częściową koagulacją węglików, wydzielenia na granicach ziarn ferrytu

**Klasa 3**  
całkowita koagulacja wydzielań w perlicie, łańcuszki wydzielań na granicach ziarn

**Klasa 4**  
ferryt z wydzieleniami różnicowanej wielkości, równomiernie rozmieszczonymi wewnątrz i łańcuszkami różnicowanej wielkości na granicach ziarn



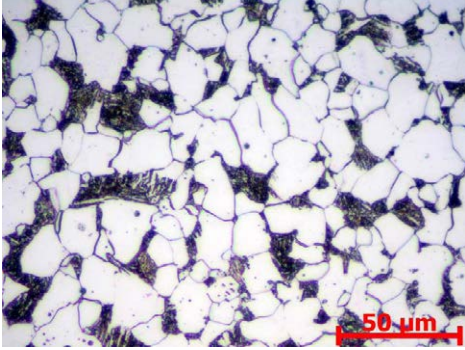
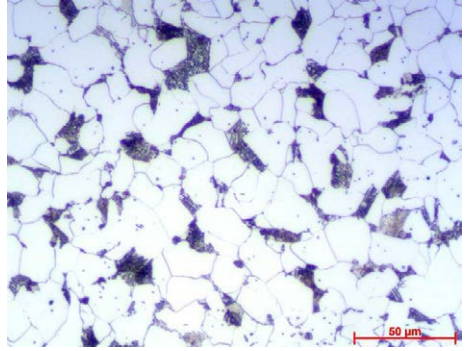
**Rys. B.2.** Klasa mikrostruktury w odniesieniu do stopnia wyczerpania na podstawie oceny zmian w strukturze: stopnia rozpadu obszarów perlitycznych, stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych oraz stopnia rozwoju wewnętrznych uszkodzeń niskostopowej stali ferrytyczno-perlitycznej **16Mo3 (16M)** pracującej w warunkach pełzania.

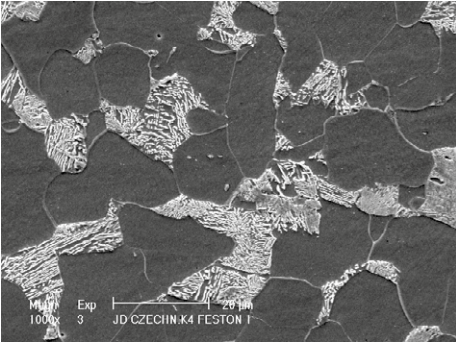
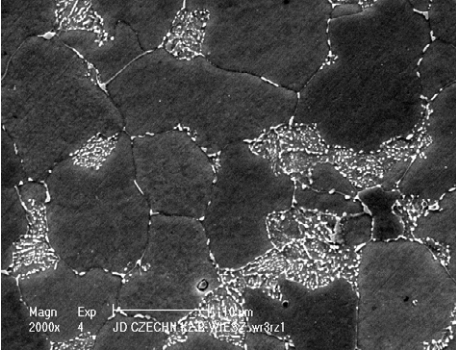
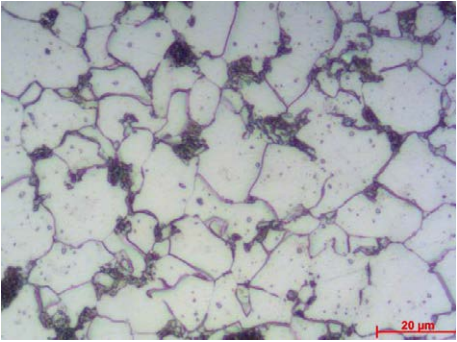


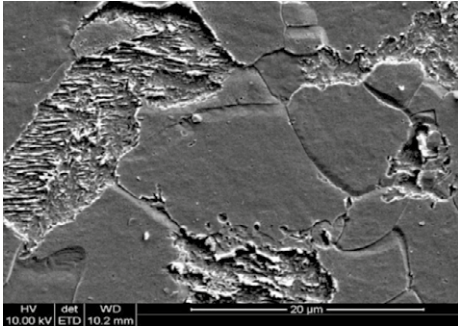
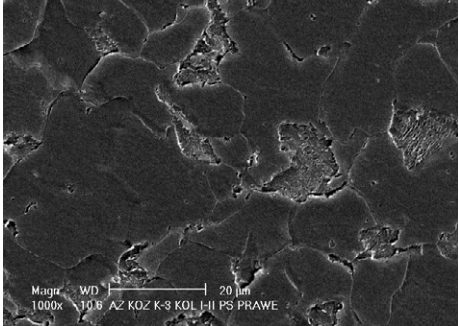
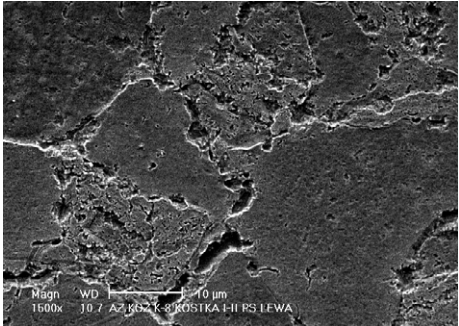
**Tablica B.1.** Okres dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy struktury niskostopowej stali ferrytyczno-perlitycznej **16Mo3 (16M)** pracującej w warunkach pełzania.

Stal molibdenowa 16Mo3 (16M), ferrytyczno – perlityczna					
Stan struktury	Skład fazowy wydzieliń	Klasa struktury	Stopień wyczerpania	Czas dopuszczenia do dalszej eksploatacji [h] w zależności od dotychczasowego okresu pracy	
				od 100 000 do 150 000 h	powyżej 150 000 h
<b>Struktura stanu wyjściowego lub niewiele odbiegająca od stanu wyjściowego - perlit z ferrytem</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● budowa płytkowa cementytu w perlicie,</li> <li>● drobne pojedyncze lub nieliczne węgliki na granicach ziarn ferrytu.</li> </ul>	M <sub>3</sub> C w postaci płytek	0	0	maks.	maks.
		0/1	do 0,2		
<b>Nieznaczny lub częściowy rozpad perlitu:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● nieznaczna fragmentacja płytek cementytu w perlicie,</li> <li>● węgliki na granicach ziarn ferrytu tworzące miejscami łańcuszki (siatki węglików),</li> <li>● zapoczątkowanie koagulacji płytek cementytu w perlicie.</li> </ul>	M <sub>3</sub> C w postaci sfragmentaryzowanych płytek	1	0,2÷0,3	60 000	40 000
	M <sub>3</sub> C w postaci sfragmentaryzowanych płytek, zapoczątkowanie koagulacji + (M <sub>2</sub> C) (możliwość występowania)	2	0,3÷0,4		
<b>Znaczący rozpad perlitu:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● postępujący proces koagulacji i koalescencji węglików w obszarach perlitycznych,</li> <li>● znaczna ilość węglików różnicowanej wielkości zgrupowanych w obszarach perlitycznych,</li> <li>● łańcuszki węglików na granicach ziarn ferrytu,</li> <li>● drobne węgliki wewnątrz ziarn ferrytu.</li> </ul>	M <sub>3</sub> C w postaci skoagulowanej +M <sub>2</sub> C	3	0,4÷0,5	maks. 40 000	DT
	M <sub>3</sub> C w postaci skoagulowanej +M <sub>2</sub> C; koalescencja wydzieliń	3/4	0,5÷0,6	maks. 30 000	
<b>Całkowity zanik obszarów perlitu:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ferryt z węglkami (i grafitem),</li> <li>● dalsza koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie,</li> <li>● dalszy znaczny wzrost wielkości węglików,</li> <li>● węgliki w miarę równomiernie rozmieszczone w ferrycie,</li> <li>● możliwość występowania grafitu.</li> </ul>	M <sub>3</sub> C w postaci skoagulowanych wydzieliń + M <sub>2</sub> C, możliwość występowania grafitu.	4	> 0,6	DT	DT

**Tablica B.2.** Przykłady oceny stanu mikrostruktury niskostopowej stali ferrytyczno-perlitycznej 16Mo3 (16M) po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania.

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
1		zgiąd metalograficzny trawiony mikroskop świetlny	Struktura ferrytyczno perlityczna. Płytki cementytu w perlicie. Na granicach ziarn ferrytu pojedyncze drobne wydzielienia. Wewnątrz ziarn ferrytu nie zaobserwowano wydzieleń.	<b>o; 0; 0</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>
2		zgiąd metalograficzny trawiony mikroskop świetlny	Struktura ferrytu z obszarami perlitu. Fragmentacja płytek cementytu w perlicie. Wewnątrz i na granicach ziarn ferrytu nie zaobserwowano wydzieleń. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>0/I; oa; 0</b> <b>Klasa 1</b>	<b>do 0,2</b>

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
3		zgląd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elek- tronowy	Struktura ferrytyczno perlityczna. Płytki cementytu w perlicie. Na granicach ziarn ferrytu pojedyncze drobne wydzielenia. Wewnątrz ziarn ferrytu nie zaobserwowano wydzielań.	<b>o; 0; 0</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>
4		zgląd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytu z obszarami perlitu. Fragmentacja płytek cementytu w perlicie. Proces koagulacji i koalescencji węglików w obszarach perlitycznych. Na granicach ziarn ferrytu wydzielienia tworzące miejscami łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu nie zaobserwowano wydzielań Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I/II; a/b; 0</b> <b>Klasa 2/3</b>	<b>0,4</b>
5		replika <u>matrycowa</u> mikroskop świetlny	Struktura ferrytyczno perlityczna. Płytki cementytu w perlicie. Na granicach ziarn ferrytu pojedyncze drobne wydzielenia. Wewnątrz ziarn ferrytu niewiele drobnych wydzielań.	<b>0/I; oa; 0</b> <b>Klasa 1</b>	<b>do 0,2</b>

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
6		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytyczno perlityczna. Płytki cementytu w perlicie. Na granicach i wewnątrz ziarn ferrytu nie zaobserwowano wydzieliń.	<b>o; 0; 0</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>
7		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytyczno perlityczna. W obszarach perlitu sfragmentaryzowane płytki cementytu. Na granicach ziarn ferrytu pojedyncze wydzielienia różnicowanej wielkości. Wewnątrz ziarn ferrytu nie zaobserwowano wydzieliń. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>0/I; o/a; 0</b> <b>Klasa 1</b>	<b>do 0,2</b>
8		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytyczno perlityczna. Po części skoagulowane obszary perlitu Na granicach ziarn ferrytu różnicowanej wielkości wydzielienia, niektóre dość znacznej. Wewnątrz ziarn ferrytu zaobserwowano wydzielienia dość równomiernie rozmieszczone. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I; a; 0</b> <b>Klasa 1/2</b>	<b>0,3</b>

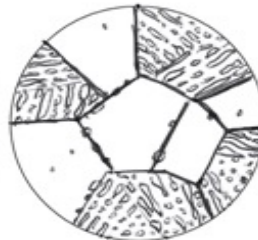
**Rys. B.3.** Model degradacji struktury ferrytyczno-perlitycznej stali **13CrMo4-5 (15HM)** w wyniku pełzania.

Klasy struktury w zależności od stanu jej podstawowych składników i stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych w powiązaniu ze stopniem wyczerpania bez wewnętrznych uszkodzeń.



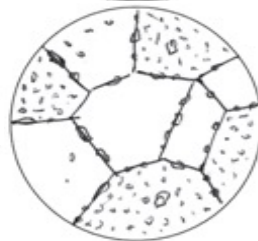
**Klasa 0**

płytki cementytu w perlicie, pojedyncze wydzielenia na granicach i wewnątrz ziarn ferrytu



**Klasa 1,2**

fragmentacja płytek cementytu w perlicie z częściową koagulacją węglików, wydzielenia na granicach ziarn ferrytu miejscami tworzące łańcuszki



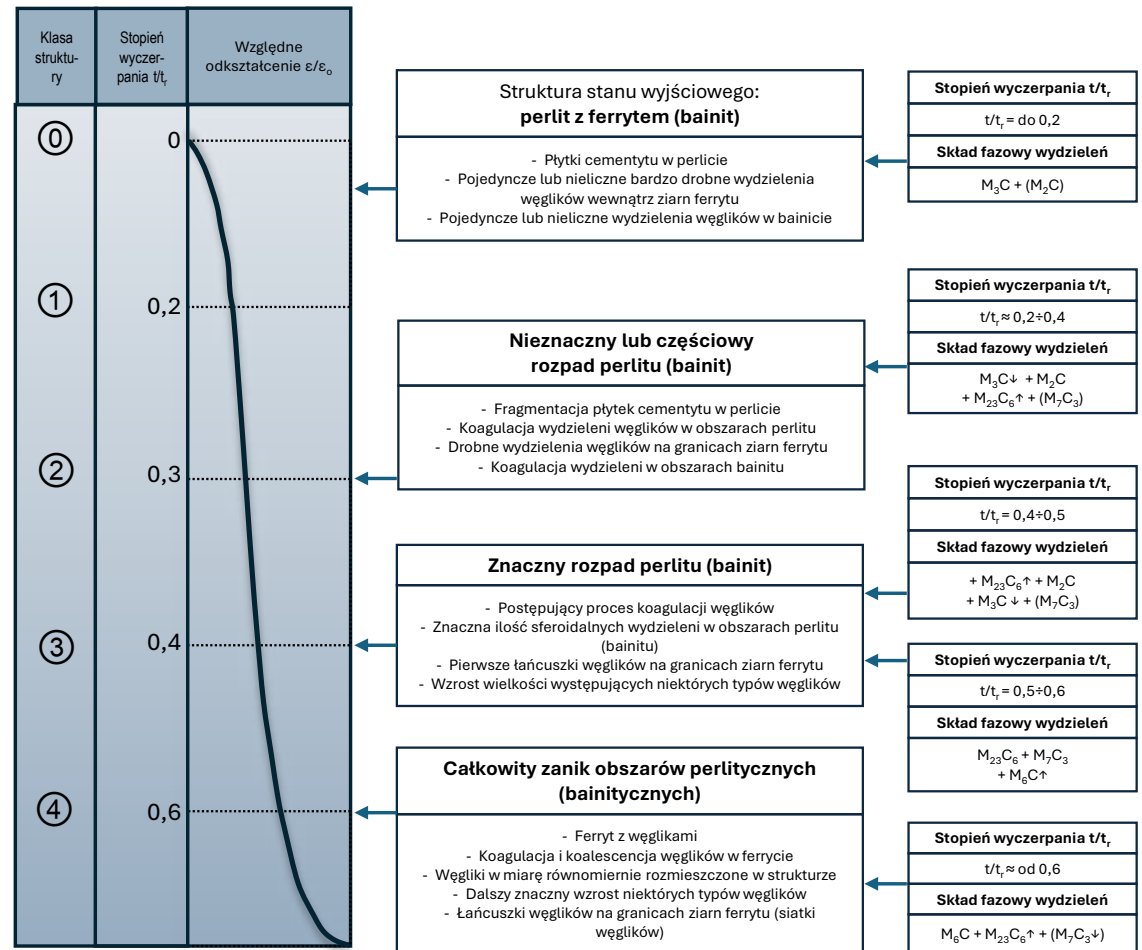
**Klasa 3**

całkowita koagulacja wydzieli w perlicie, łańcuszki wydzieli na granicach ziarn, nieliczne drobne wydzielenia wewnątrz ziarn ferrytu

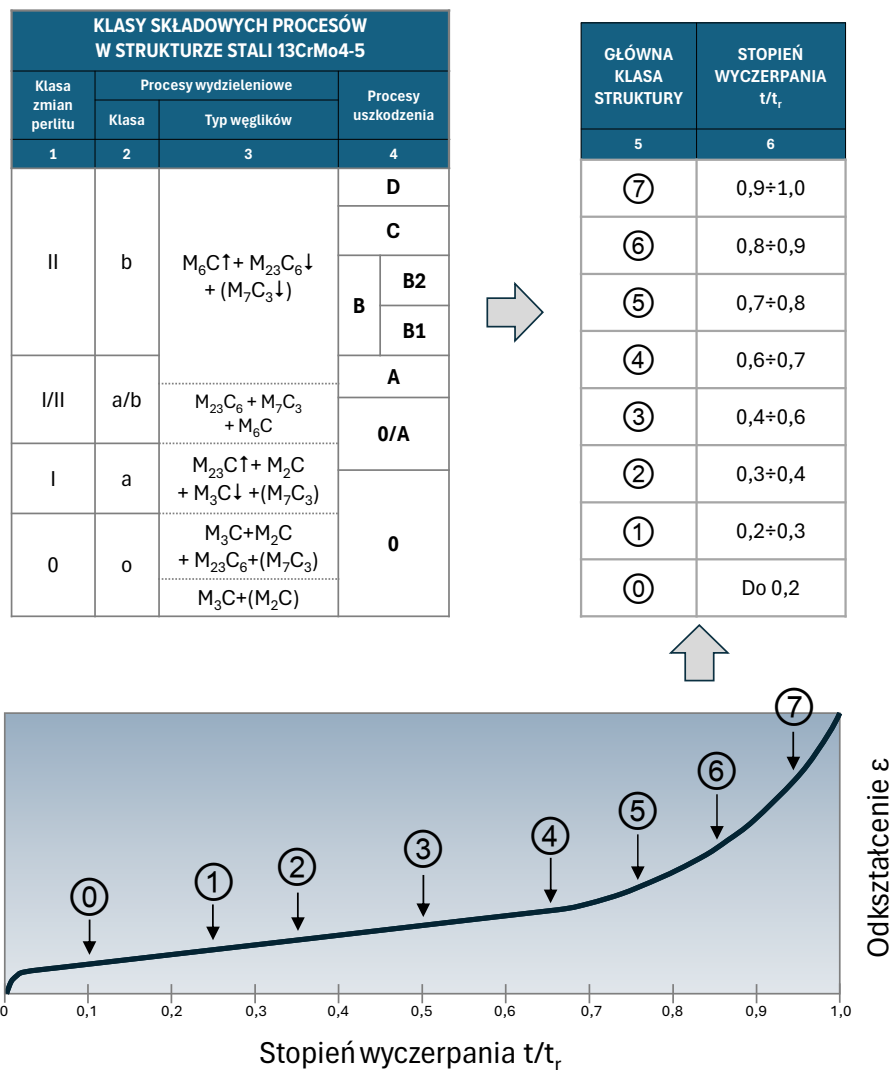


**Klasa 4**

feryt z wydzieleniami zróżnicowanej wielkości, równomiernie rozmieszczonymi wewnątrz i łańcuszkami zróżnicowanej wielkości na granicach ziarn



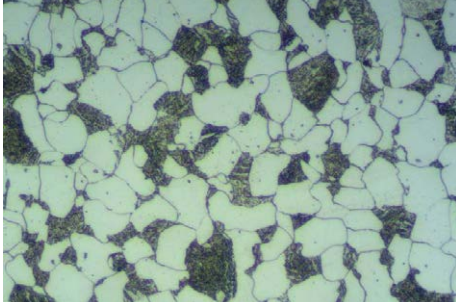
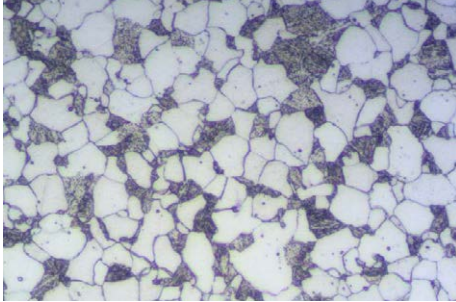
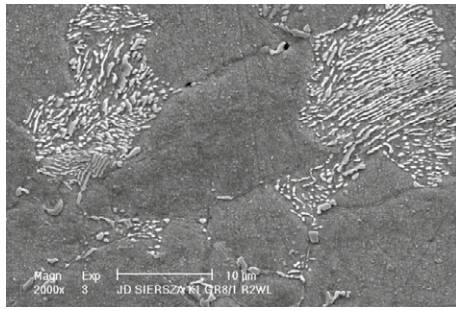
**Rys. B.4.** Klasa mikrostruktury w odniesieniu do stopnia wyczerpania na podstawie oceny zmian w strukturze: stopnia rozpadu obszarów perlitycznych, stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych oraz stopnia rozwoju wewnętrznych uszkodzeń niskostopowej stali ferrytyczno-perlitycznej **13CrMo4-5 (15HM)** pracującej w warunkach pełzania.

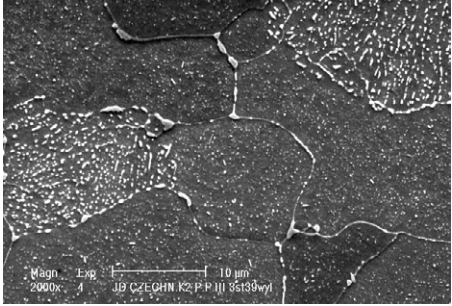
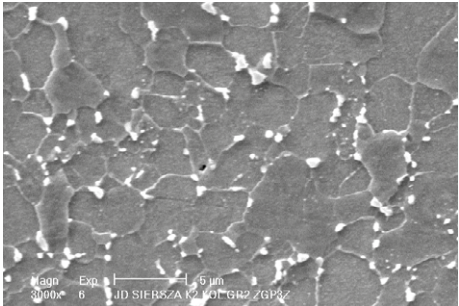
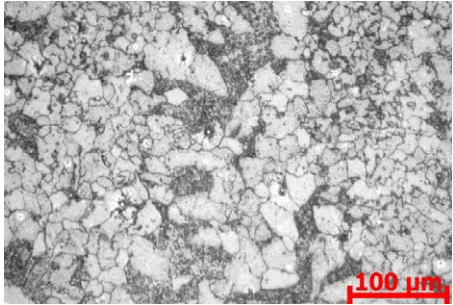


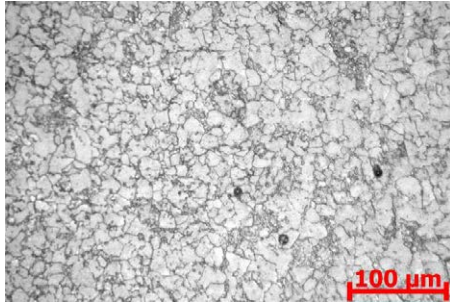
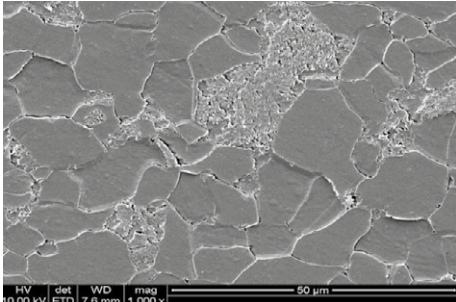
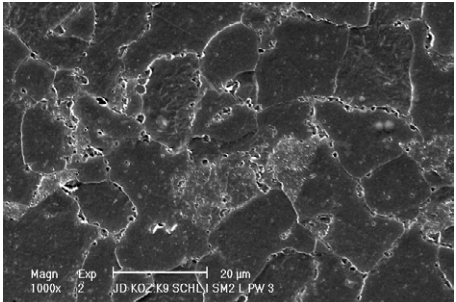
**Tablica B.3.** Okres dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy struktury niskostopowej stali ferrytyczno-perlitycznej **13CrMo4-5 (15HM)** pracującej w warunkach pełzania.

Stal chromowo - molibdenowa 13CrMo4-5 (15HM), ferrytyczno – perlityczna					
Stan struktury	Skład fazowy wydzielen	Klasa struktury	Stopień wyczerpania $t/t_r$	Czas dopuszczenia do dalszej eksploatacji [h] w zależności od dotychczasowego okresu pracy	
				od 100 000 do 150 000 h	powyżej 150 000 h
1	2	3	4	5	6
<b>Struktura stanu wyjściowego lub niewiele odbiegająca od stanu wyjściowego - perlit z ferrytem:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• płytki cementytu w perlicie,</li> <li>• pojedyncze lub nieliczne bardzo drobne wydzielenia węglików wewnątrz ziarn ferrytu,</li> <li>• pojedyncze lub nieliczne wydzielenia węglików w banicie.</li> </ul>	$M_3C + (M_2C)$  $M_3C$ (obniżanie się udziału) + $M_2C$ + $M_{23}C_6$ (wzrost udziału) + $(M_7C_3)$	0	0	maks.  60 000	maks.  40 000
		0/1	do 0,2		
<b>Nieznaczny lub częściowy rozpad perlitu:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• fragmentacja płytek cementytu w perlicie,</li> <li>• koagulacja wydzielen węglików w obszarach perlitu,</li> <li>• drobne wydzielenia węglików na granicach ziarn ferrytu,</li> <li>• koagulacja wydzielen w obszarach bainitu.</li> </ul>		2	0,3÷0,4		
	<b>Znaczący rozpad perlitu:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• postępujący proces koagulacji węglików,</li> <li>• znaczna ilość sferoidalnych wydzielen w obszarach perlitu,</li> <li>• pierwsze łańcuszki węglików na granicach ziarn ferrytu,</li> <li>• wzrost wielkości występujących niektórych typów węglików.</li> </ul>	$M_{23}C_6$ (dalszy wzrost udziału) + $M_2C$ + $M_3C$ (dalsze obniżanie się udziału) + $M_7C_3$  $M_{23}C_6 + M_7C_3 + M_6C$	3	0,4÷0,5	maks. 40 000
3/4			0,5÷0,6	maks. 30 000	
<b>Całkowity zanik obszarów perlitycznych:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ferryt z węglnikami,</li> <li>• koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie,</li> <li>• węgliki w miarę równomiernie rozmieszczone w strukturze,</li> <li>• dalszy znaczny wzrost niektórych typów węglików,</li> <li>• łańcuszki węglików na granicy ziarn ferrytu (siatki węglików),</li> <li>• możliwość występowania pustek.</li> </ul>	$M_6C$ (wzrost udziału) + $M_{23}C_6 + M_7C_3$ (obniżanie się udziału)	4	> 0,6	DT	DT

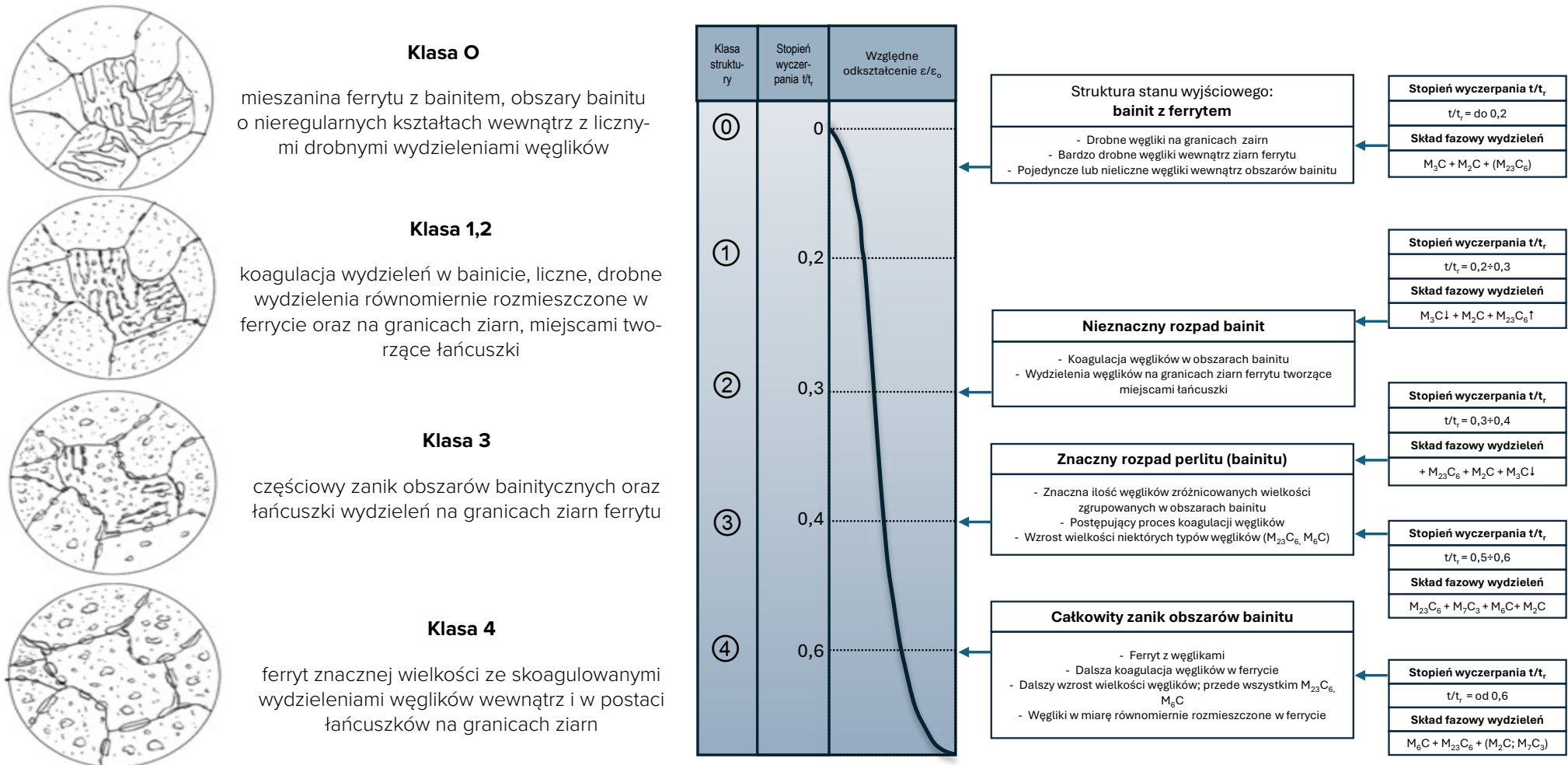
**Tablica B.4.** Przykłady oceny stanu mikrostruktury niskostopowej stali ferrytyczno-perlitycznej **13CrMo4-5 (15HM)** po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania.

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
1		zgląd metalograficzny <u>trawiony</u> mikroskop świetlny	Struktura ferrytyczno perlityczna. Płytki cementytu w perlicie. Na granicach ziarn ferrytu pojedyncze drobne wydzielenia. Wewnątrz ziarn ferrytu nie zaobserwowano wydzielań.	<b>o; 0; 0</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>
2		zgląd metalograficzny <u>trawiony</u> mikroskop świetlny	Struktura ferrytyczno perlityczna. Sfragmentaryzowane miejscami płytki cementytu w perlicie. Na granicach ziarn ferrytu pojedyncze drobne wydzielenia. Wewnątrz ziarn ferrytu nie zaobserwowano wydzielań.	<b>0/I; oa; 0</b> <b>Klasa 1</b>	<b>do 0,2</b>
3		zgląd metalograficzny <u>trawiony</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytyczno perlityczna. Płytki cementytu w perlicie. Na granicach ziarn ferrytu pojedyncze drobne wydzielenia. Wewnątrz ziarn ferrytu nie zaobserwowano wydzielań.	<b>o; 0; 0</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>

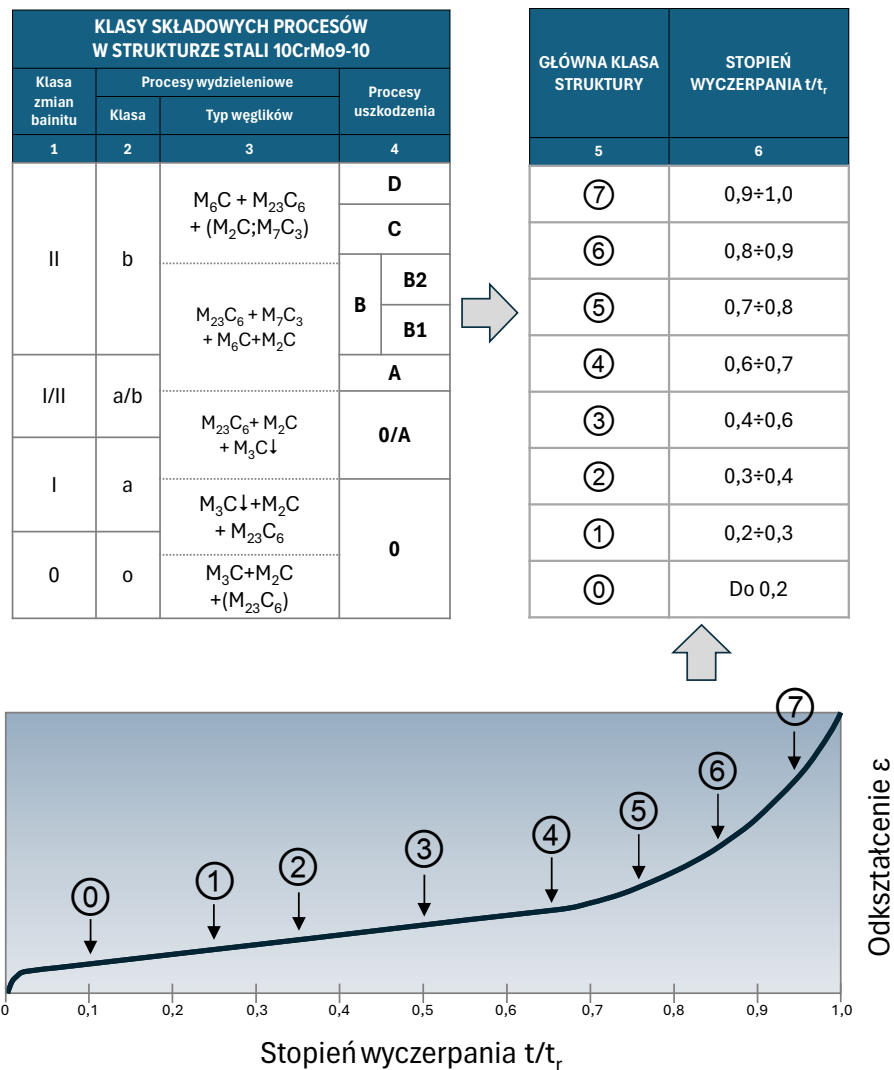
Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
4		zgiąd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytyczno perlityczna. Obszary perlityczne dość znacznie skoagulowane. Miejsca- mi tylko występujące sfragmentaryzowane płytki cementytu w perlicie. Na granicach ziarn ferrytu zróżnicowanej wielkości wy- dzielenia tworzące miejscami łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu liczne bardzo drobne wydzielienia dość równo- miernie rozmieszczone. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszko- dzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I/II; a/b; O</b> <b>Klasa 2/3</b>	<b>0,3÷0,4</b>
5		zgiąd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytu z węglkami. Całkowity zanik obszarów perlitu. Na granicach ziarn ferrytu wydzielienia dość znacznej wiel- kości tworzące łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu zróżnicowanej wielkości wydziele- nia, w większości drobne. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszko- dzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>II; a/b; O</b> <b>Klasa 3</b>	<b>0,4÷0,6</b>
6		replika matrycowa mikroskop świetlny	Struktura ferrytyczno perlityczna o zróżnicowanej wielkości ziarn ferrytu. Płytki cementytu w zróżnicowanej wielkości obszarach perlitu. Na granicach ziarn ferrytu pojedyncze drobne wydzielienia. Wewnątrz ziarn ferrytu nie zaobserwowano wydzieleni.	<b>o; 0; O</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
7		replika matrycowa mikroskop światlny	Struktura ferrytyczno-perlityczna. Fragmentacja płytek cementytu w perlicie. Na granicach ziarn ferrytu wydzielenia tworzące miejscami łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu wydzielenia. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I; a/b; O Klasa 2/3</b>	<b>0,4</b>
8		replika matrycowa skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytyczno perlityczna. Płytki cementytu w perlicie. Na granicach ziarn ferrytu pojedyncze drobne wydzielenia. Wewnątrz ziarn ferrytu nie zaobserwowano wydzielań	<b>o; 0; O Klasa 0</b>	<b>0</b>
9		replika matrycowa skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytyczno perlityczna. Obszary perlityczne prawie całkowicie skoagulowane. Na granicach ziarn ferrytu wydzielenia tworzące łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu nieliczne wydzielenia, raczej drobne. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I/II; a/b; O Klasa 3</b>	<b>0,4÷0,5</b>

**Rys. B.5.** Model degradacji struktury ferrytyczno-bainitycznej stali **10CrMo9-10 (10H2M)** w wyniku pełzania. Klasy struktury w zależności od stanu jej podstawowych składników i stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych w powiązaniu ze stopniem wyczerpania bez wewnętrznych uszkodzeń.



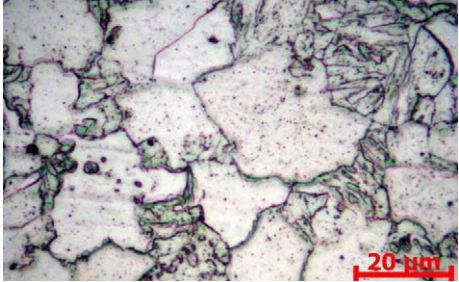
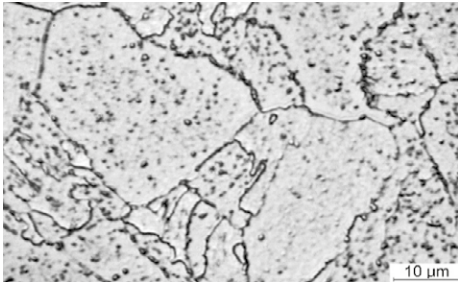
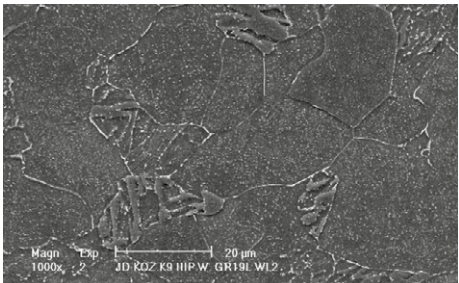
**Rys. B.6.** Klasa mikrostruktury w odniesieniu do stopnia wyczerpania na podstawie oceny zmian w strukturze: stopnia rozpadu obszarów bainitycznych, stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych oraz stopnia rozwoju wewnętrznych uszkodzeń niskostopowej stali ferrytyczno-bainitycznej **10CrMo9-10 (10H2M)** pracującej w warunkach pełzania.

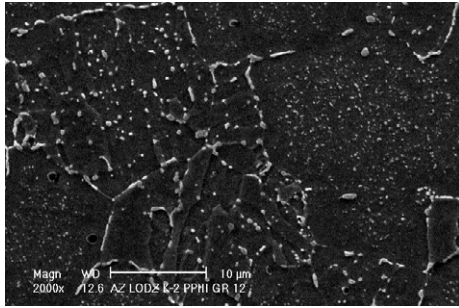
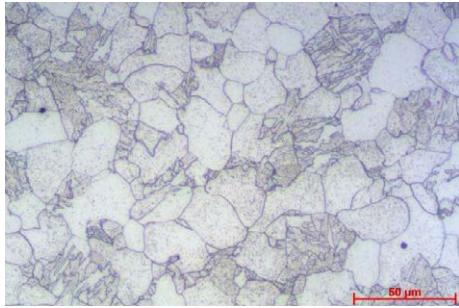
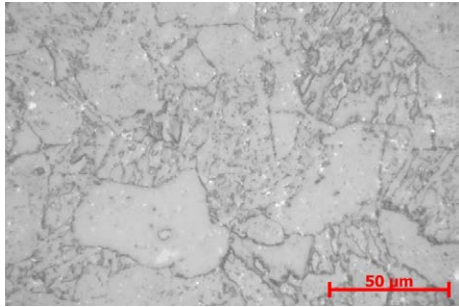


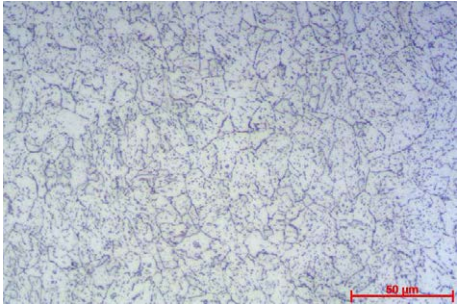
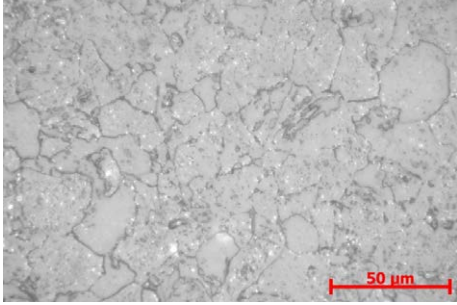
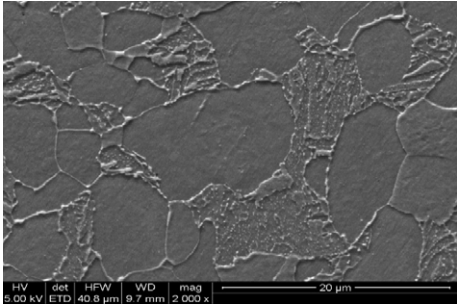
**Tablica B.5.** Okres dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy struktury niskostopowej stali ferrytyczno-bainitycznej **10CrMo9-10 (10H2M)** pracującej w warunkach pełzania.

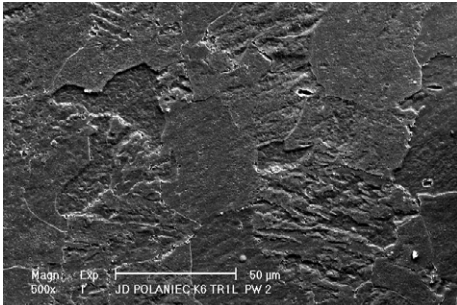
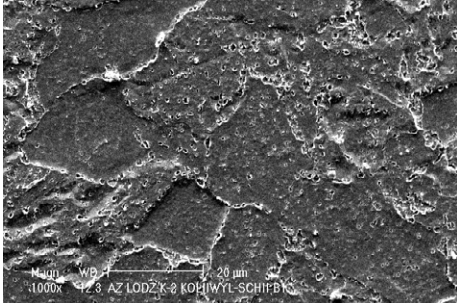
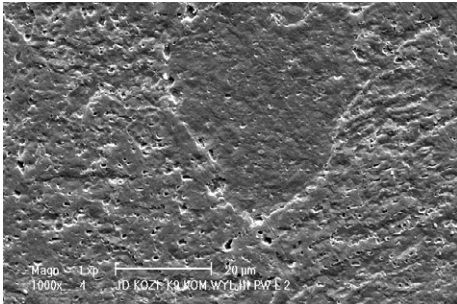
Stal chromowo - molibdenowa 10CrMo9-10 (10H2M), ferrytyczno – bainityczna					
Stan struktury	Skład fazowy wydzieliń	Klasa struktury	Stopień wyczerpania $t/t_r$	Czas dopuszczenia do dalszej eksploatacji [h] w zależności od dotychczasowego okresu pracy	
				od 100 000 do 150 000 h	powyżej 150 000 h
<b>Struktura stanu wyjściowego lub niewiele odbiegająca od stanu wyjściowego - bainit z ferrytem:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• drobne węgliki na granicach ziarn,</li> <li>• bardzo drobne węgliki wewnątrz ziarn ferrytu,</li> <li>• pojedyncze lub nieliczne węgliki wewnątrz obszarów bainitu</li> </ul>	$M_3C + M_2C + (M_{23}C_6)$	0	0	maks. 60 000	maks. 40 000
		0/1	do 0,2		
<b>Nieznaczny rozpad bainitu:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• koagulacja węglików w obszarach bainitu,</li> <li>• wydzielenia węglików na granicach ziarn ferrytu tworzące miejscami łańcuszki.</li> </ul>	$M_{23}C_6 + M_2C + M_3C$ (dalsze obniżanie się udziału)	2	0,3÷0,4	maks. 40 000	DT
		$M_{23}C_6 + M_2C + M_3C$ (dalsze obniżanie się udziału) + $M_7C_3$	3		
<b>Znaczący rozpad bainitu:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• znaczna ilość węglików zróżnicowanych wielkości zgrupowanych w obszarach bainitu,</li> <li>• postępujący proces koagulacji węglików,</li> <li>• wzrost wielkości niektórych typów węglików (<math>M_{23}C_6</math>, <math>M_6C</math>)</li> </ul>	$M_{23}C_6 + M_7C_3 + M_6C + M_2C$	3/4	0,5÷0,6	maks. 30 000	DT
		$M_6C$ (wzrost udziału) + $M_{23}C_6$ (wzrost udziału) + ( $M_2C$ ; $M_7C_3$ ) (obniżanie się udziału)	4	> 0,6	DT

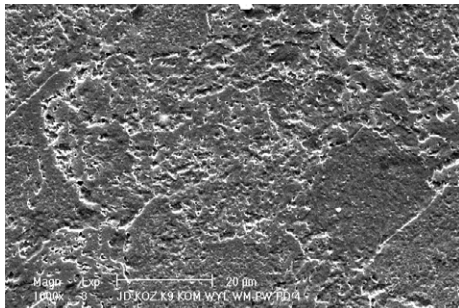
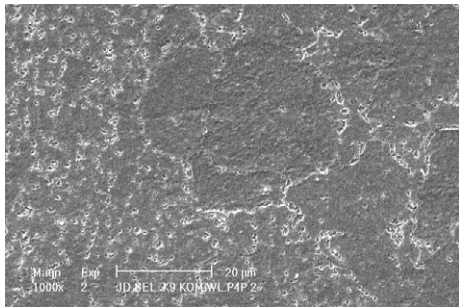
**Tablica B.6.** Przykłady oceny stanu mikrostruktury niskostopowej stali ferrytyczno-bainitycznej **10CrMo9-10 (10H2M)** po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania.

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
1		<p>zgląd metalograficzny trawiony mikroskop świetlny</p>	<p>Struktura ferrytyczno-bainityczna. Obszary bainityczne charakterystyczne dla stanu wyjściowego badanej stali. Na granicach ziarn ferrytu pojedyncze drobne wydzielenia. Wewnątrz ziarn ferrytu bardzo drobne wydzielenia dość równomiernie rozmieszczone.</p>	<p><b>o; 0; 0</b> <b>Klasa 0</b></p>	<p><b>0</b></p>
2		<p>zgląd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy</p>	<p>Struktura ferrytyczno-bainityczna. Obszary bainityczne nieznacznie lub po części skoagulowane. Na granicach ziarn ferrytu wydzielenia zróżnicowanej wielkości. Wewnątrz ziarn ferrytu drobne wydzielenia dość równomiernie rozmieszczone.</p>	<p><b>I; a; 0</b> <b>Klasa 2</b></p>	<p><b>0,3÷0,4</b></p>
3		<p>zgląd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy</p>	<p>Struktura ferrytyczno-bainityczna. Obszary bainityczne charakterystyczne dla stanu wyjściowego badanej stali. Na granicach ziarn ferrytu drobne wydzielenia tworzące miejscami łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu bardzo drobne wydzielenia dość równomiernie rozmieszczone.</p>	<p><b>o; 0; 0</b> <b>Klasa 0</b></p>	<p><b>0</b></p>

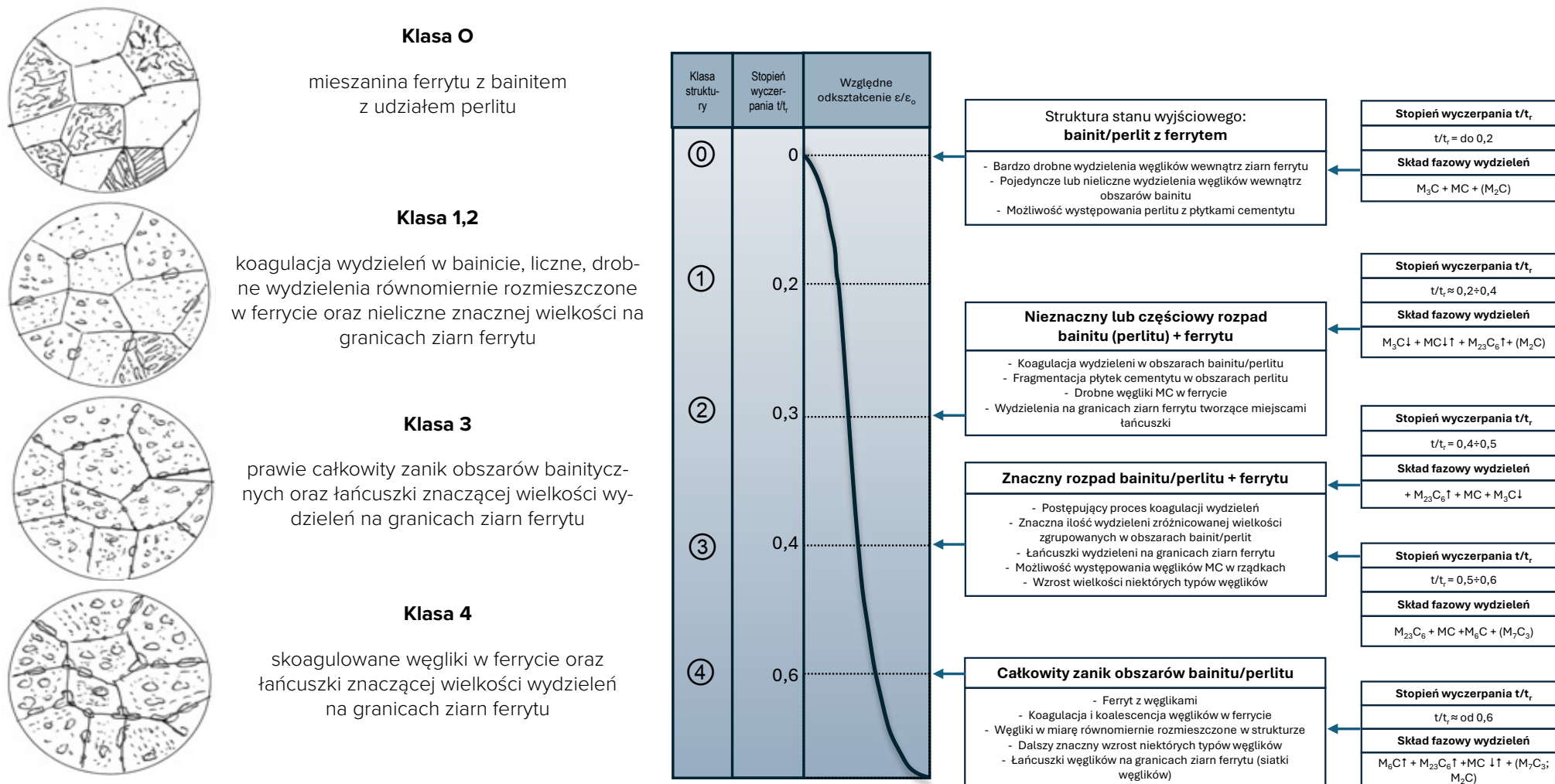
Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
4		zgląd metalograficzny <u>trawiony</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytyczno-bainityczna. Obszary bainityczne znacznie skoagulowane. Na granicach ziarn ferrytu wydzielienia tworzące łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu różnicowanej wielkości wydzielienia, w większości drobne, równomiernie rozmieszczone. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I/II; a/b; O</b> <b>Klasa 2/3</b>	<b>0,4</b>
5		replika <u>matrycowa</u> mikroskop świetlny	Struktura ferrytyczno-bainityczna. Obszary bainityczne charakterystyczne dla stanu wyjściowego badanej stali. Na granicach ziarn ferrytu nie ujawniono wydzieliń Wewnątrz ziarn ferrytu bardzo drobne wydzielienia.	<b>o; 0; O</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>
6		replika <u>matrycowa</u> mikroskop świetlny	Struktura bainitu z ferrytem. Obszary bainityczne po części skoagulowane. Na granicach ziarn ferrytu wydzielienia tworzące miejscami łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu wydzielienia różnicowanej wielkości. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I; a; O</b> <b>Klasa 2</b>	<b>0,4</b>

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
7		replika matrycowa mikroskop świetlny	<p>Struktura bainitu z niewielkim udziałem ferrytu. Obszary bainityczne dość znacznie skoagulowane. Na granicach ziarn ferrytu wydzielienia tworzące łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu równomiernie rozmieszczone wydzielienia.</p> <p>Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.</p> <p>Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.</p>	<b>I/II; a/b; O Klasa 3</b>	<b>0,4</b>
8		replika matrycowa mikroskop świetlny	<p>Struktura ferrytu ze znacznie skoagulowanymi obszarami bainitu. Na granicach ziarn ferrytu wydzielienia tworzące łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu równomiernie rozmieszczone wydzielienia różnicowanej wielkości.</p> <p>Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.</p> <p>Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.</p>	<b>I/II; b; O Klasa 3/4</b>	<b>0,4÷0,5</b>
9		replika matrycowa skaningowy mikroskop elektronowy	<p>Struktura ferrytyczno-bainityczna. Obszary bainityczne charakterystyczne dla stanu wyjściowego badanej stali.</p> <p>Na granicach ziarn ferrytu drobne wydzielienia tworzące miejscami łańcuszki.</p> <p>Wewnątrz ziarn ferrytu bardzo drobne wydzielienia dość równomiernie rozmieszczone.</p>	<b>o; 0; O Klasa 0</b>	<b>0</b>

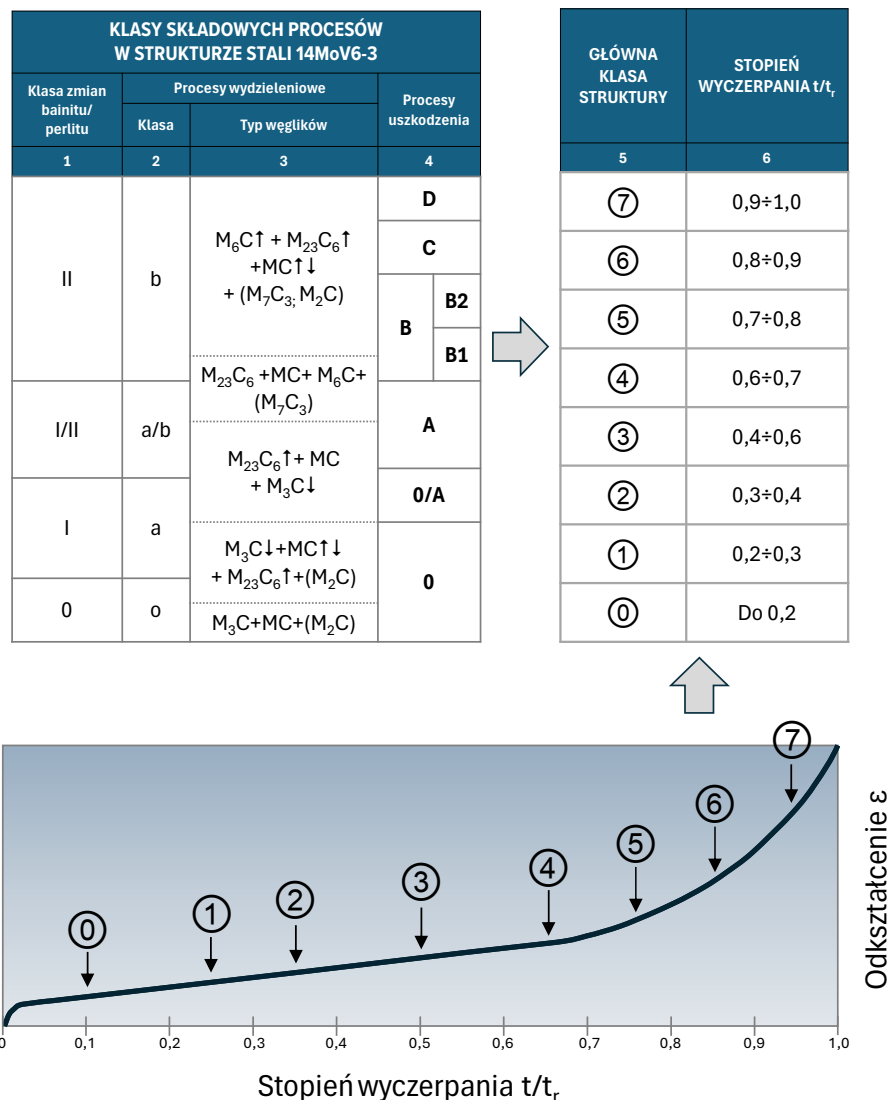
Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
10		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytyczno-bainityczna. Obszary bainityczne charakterystyczne dla stanu wyjściowego badanej stali. Na granicach ziarn ferrytu drobne wydzielienia tworzące miejscami łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu bardzo drobne wydzielienia dość równomiernie rozmieszczone.	<b>o; 0; 0</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>
11		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura bainitu z ferrytem. Obszary bainityczne nieznacznie lub po części skoagu- lowane. Na granicach ziarn ferrytu wydzielienia tworzące miejscami łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu wydzielienia zróżnicowanej wielkości. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I; a; 0</b> <b>Klasa 2</b>	<b>0,3÷0,4</b>
12		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura bainitu z ferrytem. Obszary bainityczne nieznacznie lub po części skoagu- lowane. Na granicach ziarn ferrytu wydzielienia tworzące miejscami łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu drobne wydzielienia Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I; a; 0</b> <b>Klasa 2</b>	<b>0,3÷0,4</b>

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
13		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura bainitu z ferrytem. Obszary bainityczne po części skoagulowane. Na granicach ziarn ferrytu wydzielania tworzące miejscami łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu nieliczne drobne wydzielania Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I/II; a; O</b> <b>Klasa 2</b>	<b>0,4</b>
14		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura bainitu z ferrytem. Obszary bainityczne znacznie skoagulowane. Na granicach ziarn ferrytu wydzielania tworzące łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu drobne wydzielania. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I/II; a/b; O</b> <b>Klasa 2/3</b>	<b>0,4÷0,5</b>

**Rys. B.7.** Model degradacji struktury ferrytyczno-bainitycznej stali **14MoV6-3 (13HMF)** w wyniku pełzania. Klasy struktury w zależności od stanu jej podstawowych składników i stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych w powiązaniu ze stopniem wyczerpania bez wewnętrznych uszkodzeń.



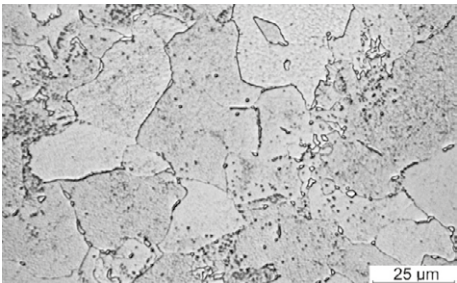
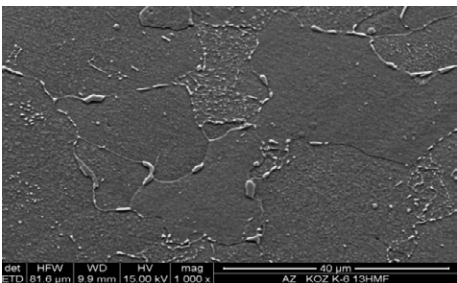
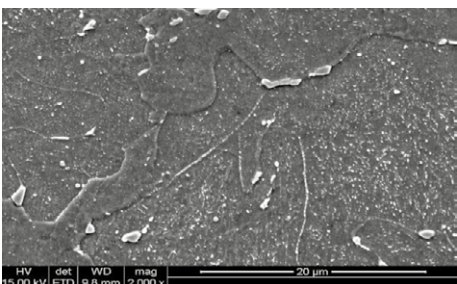
**Rys. B.8.** Klasa mikrostruktury w odniesieniu do stopnia wyczerpania na podstawie oceny zmian w strukturze: stopnia rozpadu obszarów bainitycznych (perlitycznych), stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych oraz stopnia rozwoju wewnętrznych uszkodzeń niskostopowej stali ferrytyczno-bainitycznej **14MoV6-3 (13HMF)** pracującej w warunkach pełzania.

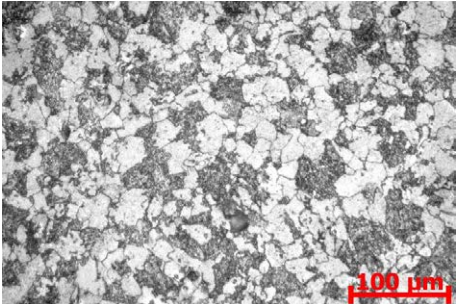

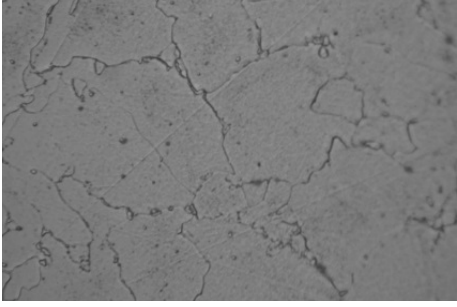


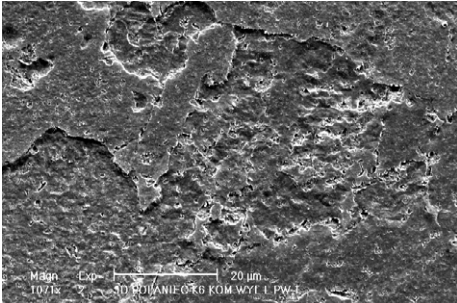
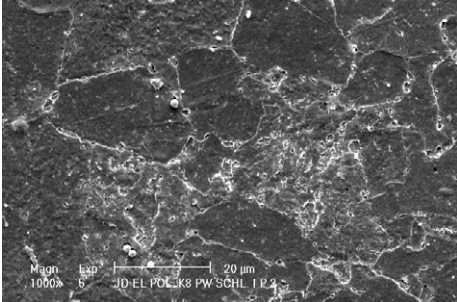
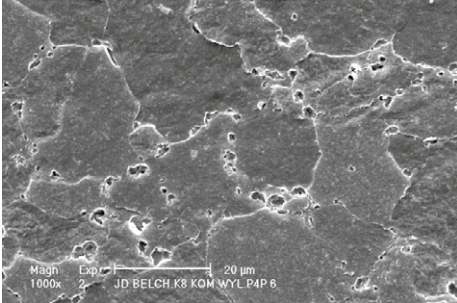
**Tablica B.7.** Okres dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy struktury niskostopowej stali ferrytyczno-bainitycznej **14MoV6-3 (13HMF)** pracującej w warunkach pełzania.

Stal chromowo – molibdenowo – wanadowa 14MoV6-3 (13HMF), ferrytyczno – bainityczna					
Stan struktury	Skład fazowy wydzielen	Klasa struktury	Stopień wyczerpania t/t <sub>r</sub>	Czas dopuszczenia do dalszej eksploatacji [h] w zależności od dotychczasowego okresu pracy	
				od 100 000 do 150 000 h	powyżej 150 000 h
<b>Struktura stanu wyjściowego lub niewiele odbiegająca od stanu wyjściowego – bainit/perlit z ferrytem:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● bardzo drobne wydzielone węglików wewnątrz ziarn ferrytu,</li> <li>● pojedyncze lub nieliczne wydzielone węglików wewnątrz obszarów bainitu,</li> <li>● możliwość występowania perlitu z płytkami cementytu.</li> </ul>	M <sub>3</sub> C + MC + (M <sub>2</sub> C)(możliwość występowania)	0	0	maks.	maks.
		0/1	do 0,2		
	M <sub>3</sub> C (obniżanie się udziału) + MC + M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (wzrost udziału)+ (M <sub>2</sub> C)	1	0,2 - 0,3	60 000	40 000
<b>Nieznaczny lub częściowy rozpad bainitu (perlitu) + ferryt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● koagulacja wydzielen w obszarach bainit/perlit,</li> <li>● fragmentacja płytek cementytu w obszarach perlitu,</li> <li>● drobne węgliki MC w ferrycie,</li> <li>● wydzielone na granicach ziarn ferrytu tworzące miejscami łańcuszki.</li> </ul>	M <sub>3</sub> C (dalsze obniżanie się udziału) + MC + M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (dalszy wzrost udziału)+ (M <sub>2</sub> C)	2	0,3 - 0,4	maks. 40 000	maks. 30 000
<b>Znaczący rozpad bainitu/perlitu + ferryt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● postępujący proces koagulacji wydzielen,</li> <li>● znaczna ilość wydzielen różnicowanej wielkości zgrupowanych w obszarach bainit / perlit,</li> <li>● łańcuszki wydzielen na granicach ziarn ferrytu,</li> <li>● możliwość występowania węglików MC w rzędach,</li> <li>● wzrost wielkości niektórych typów węglików.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (dalszy wzrost udziału) + MC + M <sub>3</sub> C (dalsze obniżanie się udziału)	3	0,4÷0,5	maks. 30 000	DT
	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> + MC + M <sub>6</sub> C + (M <sub>7</sub> C <sub>3</sub> )	3/4	0,5÷0,6	maks. 20 000	DT
<b>Całkowity zanik obszarów bainitu/perlitu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ferryt z węglnikami;</li> <li>● koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie,</li> <li>● dalszy znaczny wzrost ilości niektórych typów węglików,</li> <li>● dalszy znaczny wzrost wielkości niektórych typów węglików,</li> <li>● węgliki w miarę równomiernie rozmieszczone w strukturze.</li> </ul>	M <sub>6</sub> C (wzrost udziału) + M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (dalszy wzrost udziału)+ MC + (M <sub>7</sub> C <sub>3</sub> , M <sub>2</sub> C) (możliwość występowania)	4	> 0,6	DT	DT

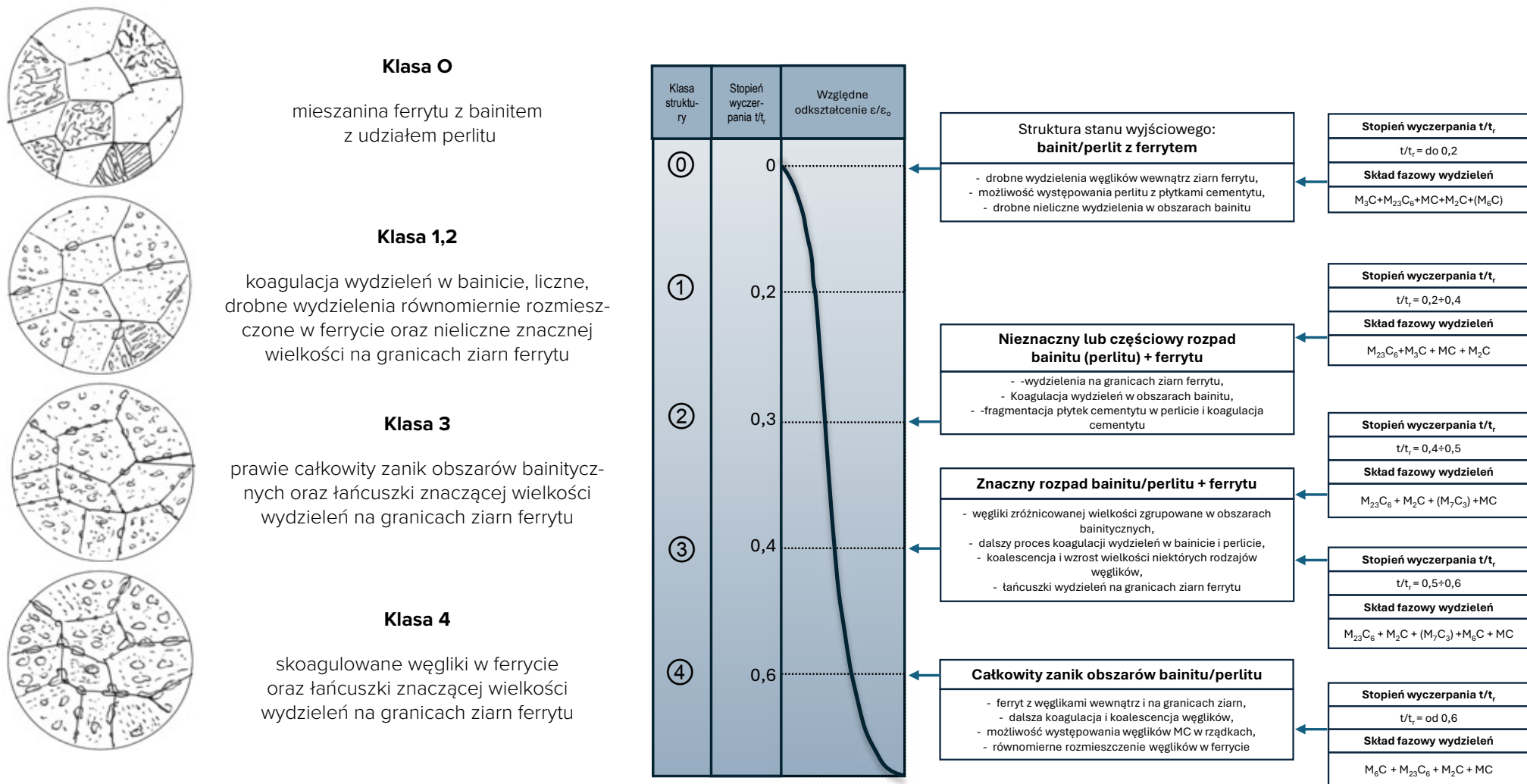
**Tablica B.8.** Przykłady oceny stanu mikrostruktury niskostopowej stali ferrytyczno-bainitycznej **14MoV6-3 (13HMF)**, po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania.

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
1		zgląd metalograficzny <u>trawiony</u>  mikroskop świetlny	Struktura ferrytyczno-bainityczna z udziałem perlitu. Obszary bainityczne dość znacznie skoagulowane. Obszary perlityczne z mocno sfragmentyzowanymi płytkami cemen-tytu w znacznej części skoagulo-wanymi. Na granicach ziarn ferrytu liczne zróżnicowanej wielkości wydzie-lenia. Wewnątrz ziarn ferrytu bardzo drobne równomiernie rozmieszczone wydzielienia. Nie zaobserwowano nieciągłości i mikropęknięć w strukturze. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.	<b>I/II; a/b; O</b>  <b>Klasa 2/3</b>	<b>0,4</b>
2		zgląd metalograficzny <u>trawiony</u>  skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytyczno-bainityczna. Obszary bainityczne dość znacznie skoagulowane. Na granicach ziarn ferrytu liczne zróżni-cowanej wielkości wydzielienia tworzące łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu bardzo drobne wydzielienia. Nie zaobserwowano nieciągłości i mikropęknięć w strukturze. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.	<b>I; a/b; O</b>  <b>Klasa 2</b>	<b>0,3÷0,4</b>
3		zgląd metalograficzny <u>trawiony</u>  skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytyczno-bainityczna z udziałem perlitu. Obszary bainityczne dość znacznie skoagulowane. Obszary perlityczne z mocno sfragmenty-zowanymi płytkami cementytu w znacznej części skoagulowanymi. Na granicach ziarn ferrytu liczne zróżnicowanej wielkości wydzielienia. Wewnątrz ziarn ferrytu drobne równomiernie rozmieszczone wydzielienia. Nie zaobserwowano nieciągłości i mikropęknięć w strukturze. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.	<b>I/II; a/b; O</b>  <b>Klasa 2/3</b>	<b>0,4</b>

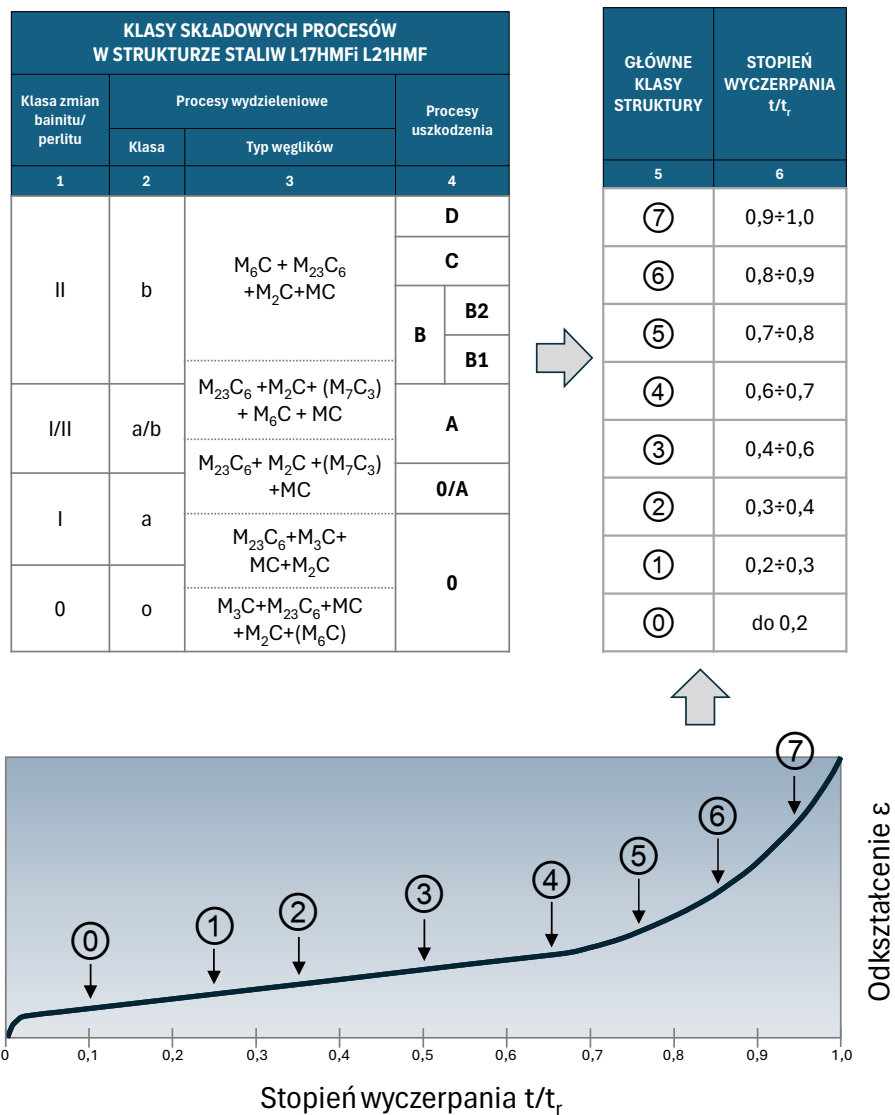
Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
4		replika <u>matrycowa</u>  mikroskop świetlny	Struktura ferrytyczno-bainityczna z udziałem perlitu. Obszary bainityczne i perlityczne charakterystyczne dla stanu wyjściowego badanej stali. Wewnątrz ziarn ferrytu bardzo drobne wydzielienia. Nie zaobserwowano nieciągłości i mikropęknięć w strukturze. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.	<b>o; 0; 0</b>  <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>
5		replika <u>matrycowa</u>  mikroskop świetlny	Struktura ferrytu z pozostałościami bainitu. Zanik obszarów bainitycznych Na granicach ziarn ferrytu liczne zróżnicowanej wielkości wydzielienia. Wewnątrz ziarn ferrytu równomiernie rozmieszczone wydzielienia zróżnicowanej wielkości. Nie zaobserwowano nieciągłości i mikropęknięć w strukturze. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.	<b>II; b; 0</b>  <b>Klasa 4</b>	<b>0,5</b>
6		replika <u>matrycowa</u>  mikroskop świetlny	Struktura ferrytu z pozostałościami bainitu. Zanik obszarów bainitycznych Na granicach ziarn ferrytu liczne zróżnicowanej wielkości wydzielienia. Wewnątrz ziarn ferrytu równomiernie rozmieszczone wydzielienia zróżnicowanej wielkości. Nie zaobserwowano nieciągłości i mikropęknięć w strukturze. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.	<b>II; b; 0</b>  <b>Klasa 4</b>	<b>0,5</b>

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
7		replika <u>matrycowa</u>  mikroskop świetlny	Struktura ferrytyczno bainityczna. Obszary bainityczne nie odbiegające postacią od charakterystycznej dla stanu wyjściowego badanej stali. Na granicach ziarn ferrytu pojedyncze drobne wydzielenia. Wewnątrz ziarn ferrytu nie zaobserwowano wydzielań.	<b><u>0/I; o/a; O</u></b>  <b>Klasa 1</b>	<b>do 0,2</b>
8		replika <u>matrycowa</u>  skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura bainityczno-ferrytyczna. Obszary bainityczne po części skoagulowane. Na granicach i wewnątrz ziarn ferrytu raczej niewielkie wydzielenia.  Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.  Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b><u>I; a; O</u></b>  <b>Klasa 1/2</b>	<b>0,3</b>
9		replika <u>matrycowa</u>  skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytu z węglkami.  Węgiel na granicach ziarn tworzące łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu bardzo drobne węglki dość równomiernie rozmieszczone.  Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.  Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b><u>II; a/b; O</u></b>  <b>Klasa 3/4</b>	<b>0,4-0,6</b>

**Rys. B.9.** Model degradacji struktury ferrytyczno-bainityczno-perlitycznej staliw **L17HMF i L21HMF** w wyniku pełzania. Klasy struktury w zależności od stanu jej podstawowych składników i stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych w powiązaniu ze stopniem wyczerpania bez wewnętrznych uszkodzeń.



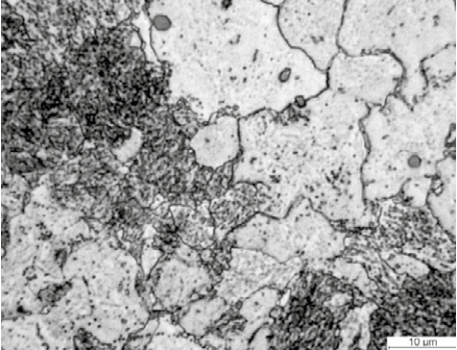
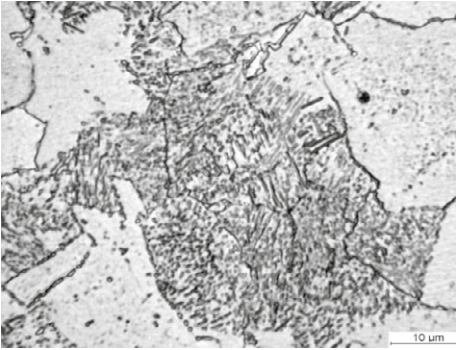
**Rys. B.10.** Klasa mikrostruktury w odniesieniu do stopnia wyczerpania na podstawie oceny zmian w strukturze: stopnia rozpadu obszarów perlit/bainit, stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych oraz stopnia rozwoju wewnętrznych uszkodzeń niskostopowych staliw ferrytyczno-bainityczno-perlitycznych **L17HMF i L21HMF** pracujących w warunkach pełzania.

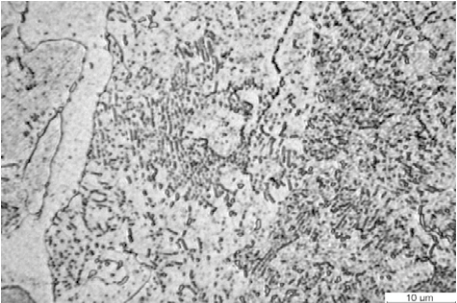
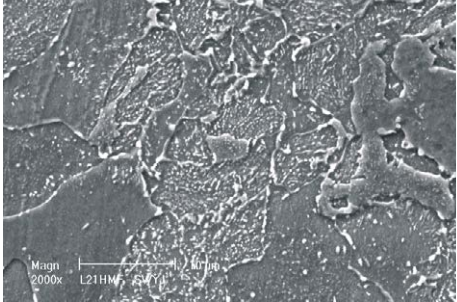
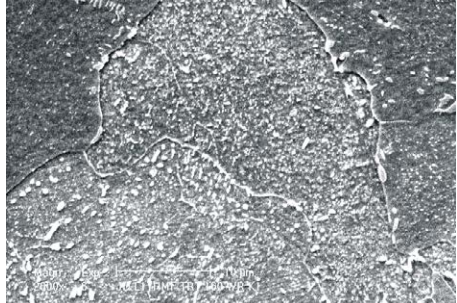


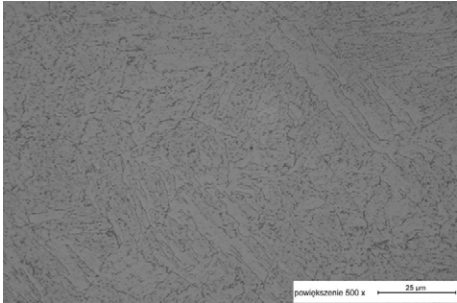
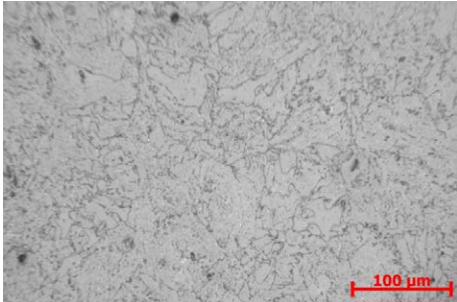
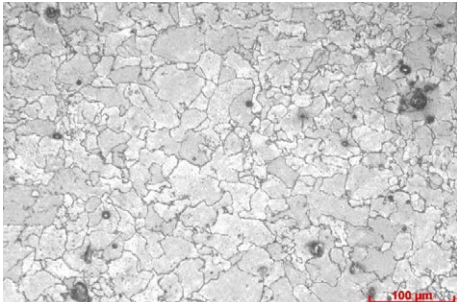
**Tablica B.9.** Okres dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy struktury niskostopowych staliw **L17HMF i L21HMF** o strukturze ferrytyczno-bainityczno – perlitycznej pracujących w warunkach pełzania.

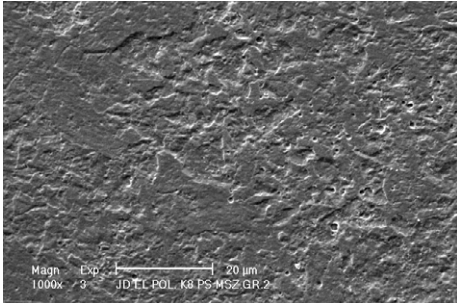
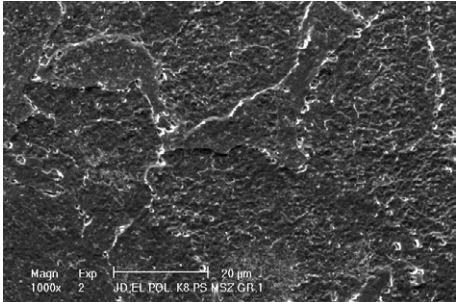
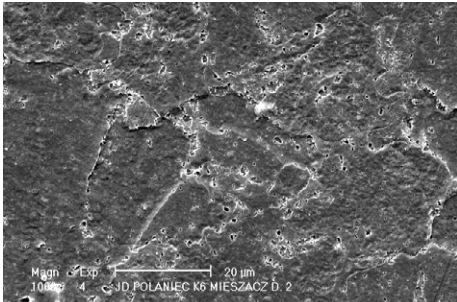
Staliwo chromowo – molibdenowo – wanadowe L17HMF i L21HMF o strukturze ferrytyczno – bainityczno - perlitycznej					
Stan struktury	Skład fazowy wydzieliń	Klasa struktury	Stopień wyczerpania t/t <sub>r</sub>	Czas dopuszczenia do dalszej eksploatacji [h] w zależności od dotychczasowego okresu pracy	
				od 100 000 do 150 000 h	powyżej 150 000 h
<b>Struktura stanu wyjściowego lub niewiele odbiegająca od stanu wyjściowego – bainit/perlit z ferrytem:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>bardzo drobne nieliczne wydzieleni węglików wewnątrz ziarn ferrytu,</li> <li>pojedyncze lub nieliczne wydzielenia węglików wewnątrz obszarów bainitu,</li> <li>możliwość występowania perlitu z płytkami cementytu.</li> </ul>	M <sub>3</sub> C+M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> +MC+M <sub>2</sub> C+ (M <sub>6</sub> C) (możliwość występowania)	0	0	maks.	maks.
	M <sub>3</sub> C (obniżanie się udziału) M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (wzrost udziału) + MC + (M <sub>2</sub> C)	0/1	do 0,2		
<b>Nieznaczny lub częściowy rozpad bainitu (bainitu) + ferryt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>koagulacja wydzieliń w obszarach bainit/perlit,</li> <li>fragmentacja płytek cementytu w obszarach perlitu,</li> <li>drobne węgliki MC w ferrycie,</li> <li>wydzielenia na granicach ziarn ferrytu tworzące miejscami łańcuszki.</li> </ul>	M <sub>3</sub> C (dalsze obniżanie się udziału) + M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (dalszy wzrost udziału) + M <sub>2</sub> C + MC +(M <sub>7</sub> C <sub>3</sub> ) (możliwość występowania)	1	0,2 - 0,3	60 000	40 000
	M <sub>3</sub> C (dalsze obniżanie się udziału) + M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (dalszy wzrost udziału) + M <sub>2</sub> C + MC +(M <sub>7</sub> C <sub>3</sub> ) (możliwość występowania)	2	0,3 - 0,4	maks.	maks.
<b>Znaczący rozpad bainitu/perlitu + ferryt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>postępujący proces koagulacji wydzieliń,</li> <li>znaczna ilość wydzieliń zróżnicowanej wielkości zgrupowanych w obszarach bainit / perlit,</li> <li>łańcuszki wydzieliń na granicach ziarn ferrytu,</li> <li>możliwość występowania węglików MC w rzędach,</li> <li>wzrost wielkości niektórych typów węglików.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (dalszy wzrost udziału) + MC + M <sub>3</sub> C (dalsze obniżanie się udziału) + M <sub>6</sub> C+(M <sub>7</sub> C <sub>3</sub> )	3	0,4÷0,5	maks.	DT
	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> + MC + M <sub>6</sub> C + (M <sub>7</sub> C <sub>3</sub> )	3/4	0,5÷0,6	30 000	DT
<b>Całkowity zanik obszarów bainitu/perlitu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>ferryt z węglnikami;</li> <li>koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie,</li> <li>dalszy znaczny wzrost ilości niektórych typów węglików,</li> <li>dalszy znaczny wzrost wielkości niektórych typów węglików,</li> <li>węgliki w miarę równomiernie rozmieszczone w strukturze.</li> </ul>	M <sub>6</sub> C (wzrost udziału) + M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (dalszy wzrost udziału)+ MC + M <sub>2</sub> C (M <sub>7</sub> C <sub>3</sub> , M <sub>2</sub> C) (możliwość występowania)	4	> 0,6	maks.	DT
	M <sub>6</sub> C (wzrost udziału) + M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (dalszy wzrost udziału)+ MC + M <sub>2</sub> C (M <sub>7</sub> C <sub>3</sub> , M <sub>2</sub> C) (możliwość występowania)	4	> 0,6	20 000	DT

**Tablica B.10.** Przykłady oceny stanu mikrostruktury niskostopowych stali o strukturze ferrytyczno-bainityczno-perlitycznej **L17HMF** i **L21HMF** po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania.

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
1		<p>zgiąd metalograficzny trawiony</p> <p>mikroskop świetlny</p>	<p>Struktura ferrytyczno-bainityczna z udziałem perlitu.</p> <p>Płytki cementytu w perlicie.</p> <p>Na granicach ziarn ferrytu pojedyncze, zróżnicowanej wielkości, wydzielania.</p> <p>Wewnątrz ziarn ferrytu raczej drobne wydzielania.</p>	<p><b><u>o; 0; 0</u></b></p> <p><b>Klasa 0</b></p>	<p><b>0</b></p>
2		<p>zgiąd metalograficzny trawiony</p> <p>mikroskop świetlny</p>	<p>Struktura ferrytyczno-bainityczna z udziałem perlitu.</p> <p>Fragmentacja cementytu w perlicie.</p> <p>Drobne wydzielania na granicach ziarn. Obszary bainityczne nieznacznie skoagulowane.</p> <p>Wewnątrz ziarn ferrytu równomiernie rozmieszczone, w większości drobne, wydzielania.</p>	<p><b><u>!; a; 0</u></b></p> <p><b>Klasa 2</b></p>	<p><b>0,3÷0,4</b></p>

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
3		<p>zgiąd metalograficzny trawiony</p> <p>mikroskop świetlny</p>	<p>Struktura ferrytyczno-bainityczna z udziałem perlitu.</p> <p>Znacznie skoagulowany cementyt w perlicie. wydzielienia tworzące łańcuszki.</p> <p>Obszary bainityczne dość znacznie skoagulowane. Wewnątrz ziarn ferrytu równomiernie rozmieszczone drobne, wydzielienia.</p>	<p><b>I/II; a/b; O</b></p> <p><b>Klasa 2/3</b></p>	<p><b>0,4</b></p>
4		<p>zgiąd metalograficzny trawiony</p> <p>skaningowy mikroskop elektronowy</p>	<p>Struktura ferrytyczno-bainityczna z udziałem perlitu.</p> <p>Fragmentacja cementytu w perlicie.</p> <p>Drobne wydzielienia na granicach ziarn.</p> <p>Obszary bainityczne nieznacznie skoagulowane. Wewnątrz ziarn ferrytu równomiernie rozmieszczone, w większości drobne, wydzielienia.</p>	<p><b>I; a; O</b></p> <p><b>Klasa 2</b></p>	<p><b>0,3÷0,4</b></p>
5		<p>zgiąd metalograficzny trawiony</p> <p>skaningowy mikroskop elektronowy</p>	<p>Struktura ferrytyczno-bainityczna z udziałem perlitu.</p> <p>Obszary bainityczne i perlityczne znacznie skoagulowane. Wewnątrz ziarn ferrytu równomiernie rozmieszczone, w większości drobne, wydzielienia.</p>	<p><b>I/II; a/b; O</b></p> <p><b>Klasa 2/3</b></p>	<p><b>0,4</b></p>

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
6		replika <u>matrycowa</u>  mikroskop światlny	Struktura ferrytyczno-bainityczna.  Obszary bainityczne o postaci typowej dla stanu wyjściowego badanej stali	<b><u>o; 0; 0</u></b>  <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>
7		replika <u>matrycowa</u>  mikroskop światlny	Struktura ferrytyczno-bainityczna.  Obszary bainityczne nieznacznie skoagulowane. Wewnątrz ziarn ferrytu równomiernie rozmieszczone, w większości drobne, wydzielienia.	<b><u>I; a; 0</u></b>  <b>Klasa 2</b>	<b>0,3÷0,4</b>
8		replika <u>matrycowa</u>  mikroskop światlny	Struktura ferrytu z węglnikami. Całkowity zanik obszarów bainitu.  Na granicach ziarn ferrytu wydzielienia tworzące łańcuszki.  Wewnątrz ziarn ferrytu zróżnicowanej wielkości wydzielienia, w większości drobne.	<b><u>I/II; a/b; 0</u></b>  <b>Klasa 2/3</b>	<b>0,4</b>

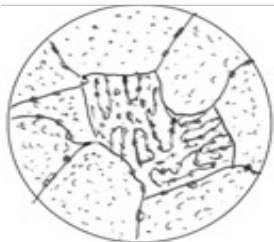
Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
9		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytu z bainitem. Na granicach i wewnątrz ziarn ferrytu nie zaobserwowano wydzieleni.  Obszary bainityczne postacią nie odbiegającą od charakterystycznej dla stanu wyjściowego.	<b><u>0/I; o/a; O</u></b>  <b>Klasa 1</b>	<b>do 0,2</b>
10		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytu z częściowo skoagulowanym bainitem. Wewnątrz ziarn ferrytu bardzo drobne wydzielenia. Na granicach ziarn ferrytu drobne wydzielenia tworzące miejscami łańcuszki. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b><u>I; a; O</u></b>  <b>Klasa 1/2</b>	<b>0,3</b>
11		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytu miejscami z obszarami znacznie skoagulowanego bainitu.  Na granicach ziarn ferrytu wydzielenia tworzące miejscami łańcuszki.  Wewnątrz ziarn ferrytu drobne wydzielenia.  Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.  Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b><u>I/II; a/b; O</u></b>  <b>Klasa 3</b>	<b>0,4</b>

**Rys. B.11.** Model degradacji struktury bainityczno-ferrytycznej stali **7CrWVMoNb9-6 (T23)** w wyniku pełzania. Klasy struktury w zależności od stanu jej podstawowych składników i stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych w powiązaniu ze stopniem wyczerpania bez wewnętrznych uszkodzeń.



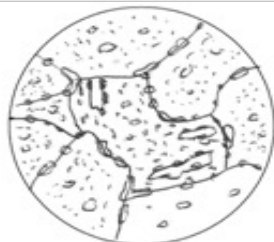
### Klasa 0

mieszanina ferrytu z bainitem, obszary bainitu o nieregularnych kształtach wewnątrz z licznymi drobnymi wydzieleniami węglików



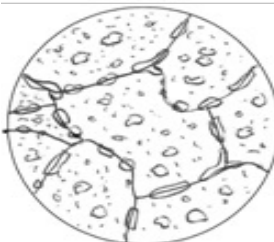
### Klasa 1,2

koagulacja wydzielań w bainicie, liczne, drobne wydzielenia równomiernie rozmieszczone w ferrycie oraz na granicach ziarn, miejscami tworzące łańcuszki



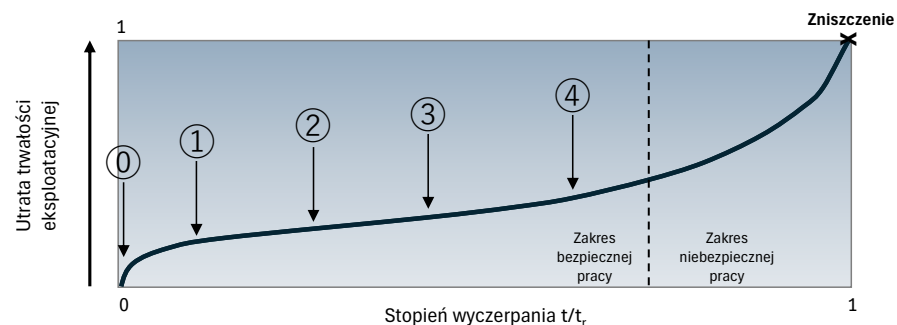
### Klasa 3

częściowy zanik obszarów bainitycznych oraz łańcuszki wydzielań na granicach ziarn ferrytu



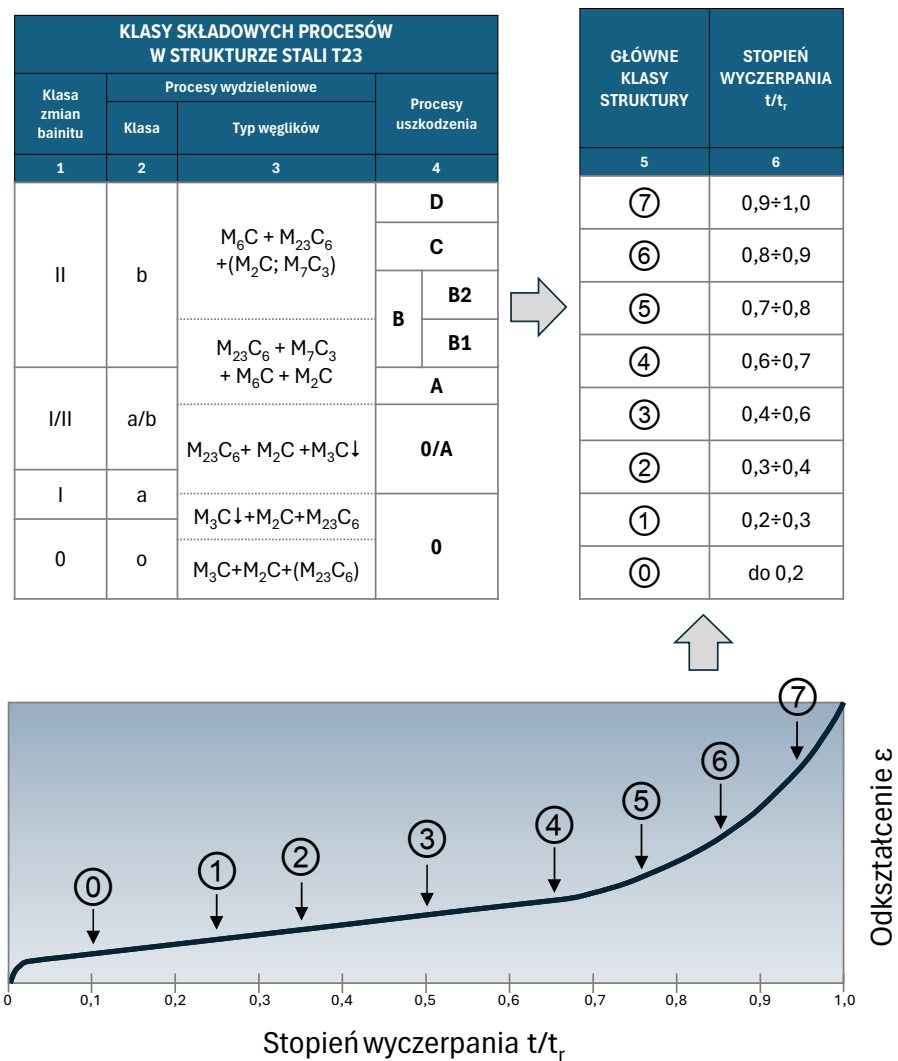
### Klasa 4

ferryt znacznej wielkości ze skoagulowanymi wydzieleniami węglików wewnątrz i w postaci łańcuszków na granicach ziarn



0	Struktura stanu wyjściowego bainit + ferryt	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Struktura bainityczno-ferrytyczna,</li> <li>- Pojedyncze wydzielenia na granicach ziarn i wewnątrz obszarów bainitycznych</li> </ul>	Skład fazowy wydzielań	$M_{23}C_6 + M_7C_3 + M(C,N)$	Średnia średnica wydzielań
	Stopień wyczerpania	0		0,3÷0,4 μm	
	Klasa struktury	0			
1	Ferryt +nieznaczny rozpad bainitu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nieliczne wydzielenia zróżnicowanej wielkości w obszarach bainitu i na granicach ziarn ferrytu,</li> <li>- pojedyncze wydzielenia wewnątrz ziarn ferrytu</li> </ul>	Skład fazowy wydzielań	$M_{23}C_6T + M_7C_3T + M_6C + M_2C + M(C,N)$	Średnia średnica wydzielań
	Stopień wyczerpania	0,2		0,4÷0,5 μm	
	Klasa struktury	1			
2	Ferryt +częściowy zanik bainitu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wydzielenia na granicach ziarn ferrytu tworzące miejscami łańcuszki,</li> <li>- Liczne drobne wydzielenia wewnątrz ziarn ferrytu i w obszarach bainitycznych,</li> <li>- Częściowy zanik obszarów bainitu</li> </ul>	Skład fazowy wydzielań	$M_6C1 + M_{23}C_6T + M_2C + M(C,N)$	Średnia średnica wydzielań
	Stopień wyczerpania	0,3		0,5÷0,6 μm	
	Klasa struktury	2			
3	Ferryt +pozostałości bainitu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Łańcuszki wydzieleni na granicach ziarn ferrytu,</li> <li>- Liczne zróżnicowanej wielkości wydzielenia wewnątrz ziarn ferrytu i w obszarach bainitycznych</li> <li>- Widoczne pozostałości bainitu</li> </ul>	Skład fazowy wydzielań	$M_6C1T + M_{23}C_6T + M(C,N)$	Średnia średnica wydzielań
	Stopień wyczerpania	0,4		0,6÷0,7 μm	
	Klasa struktury	3			
4	Ferryt +węgliki	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ferryt + wydzielenia</li> <li>- Koagulacja i koalescencja wydzieleni</li> <li>- Całkowity zanik obszarów bainitycznych</li> </ul>	Skład fazowy wydzielań	$M_6C1T1 + M_{23}C_6T + M(C,N)$	Średnia średnica wydzielań
	Stopień wyczerpania	0,6		0,7÷0,8 μm	
	Klasa struktury	4			

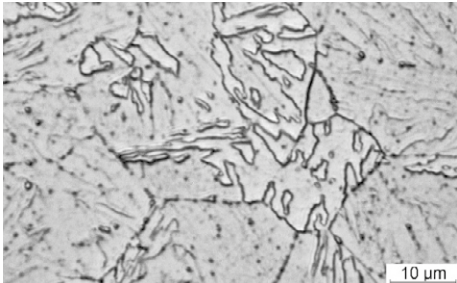
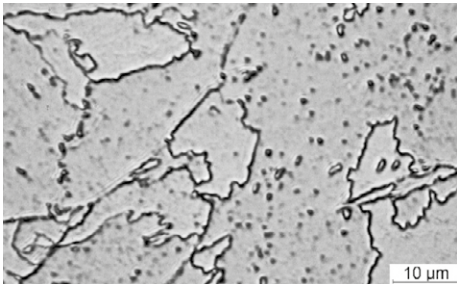
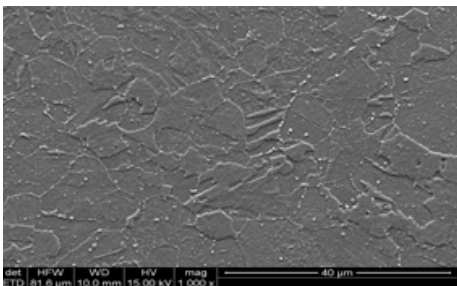
**Rys. B.12.** Klasa mikrostruktury w odniesieniu do stopnia wyczerpania na podstawie oceny zmian w strukturze: stopnia rozpadu obszarów bainitycznych, stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych oraz stopnia rozwoju wewnętrznych uszkodzeń niskostopowej stali bainityczno-ferrytycznej **7CrWVMoNb9-6 (T23)** pracującej w warunkach pełzania.

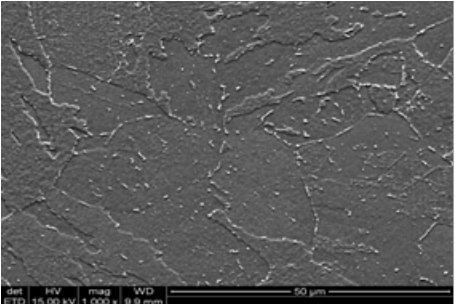
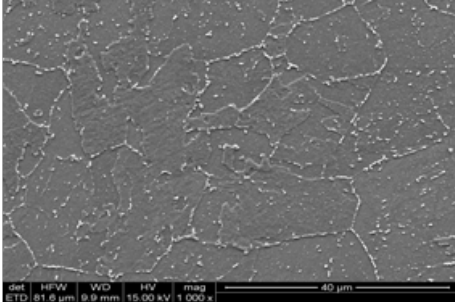
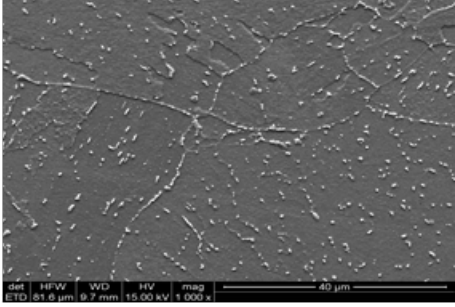


**Tablica B.11.** Okres dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy struktury niskostopowej stali bainityczno-ferrytycznej **7CrWVMoNb9-6 (T23)** pracującej w warunkach pełzania.

Stal chromowo - molibdenowa 7CrWVMoNb9-6 (T23), ferrytyczno – bainityczna					
Stan struktury	Skład fazowy wydzielen	Klasa struktury	Stopień wyczerpania t/t <sub>r</sub>	Czas dopuszczenia do dalszej eksploatacji [h] w zależności od dotychczasowego okresu pracy	
				od 100 000 do 150 000 h	powyżej 150 000 h
<b>Struktura stanu wyjściowego lub niewiele odbiegająca od stanu wyjściowego - bainit z ferrytem:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• drobne węgliki na granicach ziarn,</li> <li>• bardzo drobne węgliki wewnątrz ziarn ferrytu,</li> <li>• pojedyncze lub nieliczne węgliki wewnątrz obszarów bainitu</li> </ul>	$M_{23}C_6 + M_7C_3 + M(C,N)$	0	0	maks. 60 000	maks. 40 000
		0/1	do 0,2		
	$M_{23}C_6 + M_7C_3 + M_6C + M_2C + M(C,N)$	1	0,2÷0,3		
<b>Nieznaczny rozpad bainitu:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• koagulacja węglików w obszarach bainitu,</li> <li>• wydzielenia węglików na granicach ziarn ferrytu tworzące miejscami łańcuszki.</li> </ul>	$M_6C$ (wzrost udziału) + $M_{23}C_6$ (wzrost udziału) + $M_2C + M(C,N)$	2	0,3÷0,4		
<b>Znaczący rozpad bainitu:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• znaczna ilość węglików zróżnicowanych wielkości zgrupowanych w obszarach bainitu,</li> <li>• postępujący proces koagulacji węglików,</li> <li>• wzrost wielkości niektórych typów węglików (<math>M_{23}C_6</math>, <math>M_6C</math>)</li> </ul>	$M_6C$ (wzrost udziału) + $M_{23}C_6$ (wzrost udziału) + $M(C,N)$	3	0,4÷0,5	maks. 40 000	DT
		3/4	0,5÷0,6	maks. 30 000	DT
<b>Całkowity zanik obszarów bainitu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ferryt z węglkami,</li> <li>• dalsza koagulacja węglików w ferrycie,</li> <li>• dalszy wzrost wielkości węglików, przede wszystkim <math>M_{23}C_6</math>, <math>M_6C</math>,</li> <li>• węgliki równomiernie rozmieszczone w ferrycie,</li> <li>• możliwość występowania pustek.</li> </ul>	$M_6C$ (wzrost udziału) + $M_{23}C_6$ (wzrost udziału) + $M(C,N)$	4	> 0,6	DT	DT

**Tablica B.12.** Przykłady oceny stanu mikrostruktury niskostopowej stali ferrytyczno-bainitycznej **7CrWVMoNb9-6 (T23)** po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania.

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
1		zgląd metalograficzny <u>trawiony</u> mikroskop światlny	Struktura bainityczno-ferrytyczna. Obszary bainityczne charakterystyczne dla stanu wyjściowego badanej stali. Na granicach ziarn ferrytu pojedyncze drobne wydzielenia. Wewnątrz ziarn ferrytu bardzo drobne wydzielenia dość równomiernie rozmieszczone.	<b>o; 0; 0</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>
2		zgląd metalograficzny <u>trawiony</u> mikroskop światlny	Struktura bainityczno-ferrytyczna. Obszary bainityczne nieznacznie lub po części skoagulowane. Na granicach ziarn ferrytu wydzielenia zróżnicowanej wielkości. Wewnątrz ziarn ferrytu drobne wydzielenia dość równomiernie rozmieszczone.	<b>I; a; 0</b> <b>Klasa 2</b>	<b>0,3÷0,4</b>
3		zgląd metalograficzny <u>trawiony</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura bainityczno-ferrytyczna. Obszary bainityczne charakterystyczne dla stanu wyjściowego badanej stali. Na granicach ziarn ferrytu drobne wydzielenia tworzące miejscami łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu bardzo drobne wydzielenia dość równomiernie rozmieszczone.	<b>o; 0; 0</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>

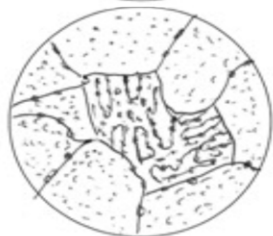
Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
4		zgląd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura bainityczno-ferrytyczna. Obszary bainityczne tylko nieznacznie odbiegające od charakterystycznych dla stanu wyjściowego. Na granicach ziarn ferrytu bardzo drobne wydzielienia tworzące miejscami łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu bardzo drobne, równomiernie rozmieszczone wydzielienia. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>0/I; o/a; O Klasa 1</b>	<b>0,2</b>
5		zgląd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytyczno-bainityczna. Obszary bainityczne tylko miejscami nieznacznie skoagulowane. Na granicach ziarn ferrytu bardzo drobne wydzielienia tworzące miejscami łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu w większości drobne, równomiernie rozmieszczone wydzielienia. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I; a; O Klasa 2</b>	<b>0,3</b>
6		zgląd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura bainitu z ferrytem. Obszary bainityczne po części skoagulowane. Na granicach ziarn ferrytu wydzielienia tworzące łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu liczne wydzielienia zróżnicowanej wielkości. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I/II; a/b; O Klasa 3</b>	<b>0,4</b>

**Rys. B.13.** Model degradacji struktury bainityczno-ferrytycznej stali **7CrMoVTiB10-10 (T24)** w wyniku pełzania. Klasy struktury w zależności od stanu jej podstawowych składników i stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych w powiązaniu ze stopniem wyczerpania bez wewnętrznych uszkodzeń.



### Klasa 0

mieszanina ferrytu z bainitem, obszary bainitu o nieregularnych kształtach wewnątrz z licznymi drobnymi wydzieleniami węglików



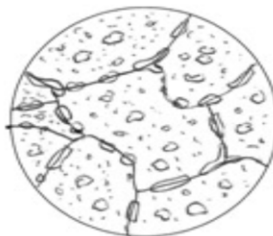
### Klasa 1,2

koagulacja wydzieli w bainicie, liczne, drobne wydzielenia równomiernie rozmieszczone w ferrytyce oraz na granicach ziarn, miejscami tworzące łańcuszki



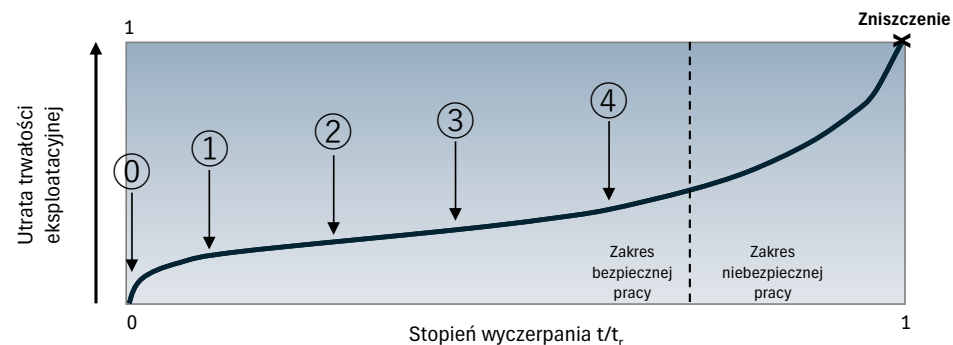
### Klasa 3

częściowy zanik obszarów bainitycznych oraz łańcuszki wydzieli na granicach ziarn ferrytu



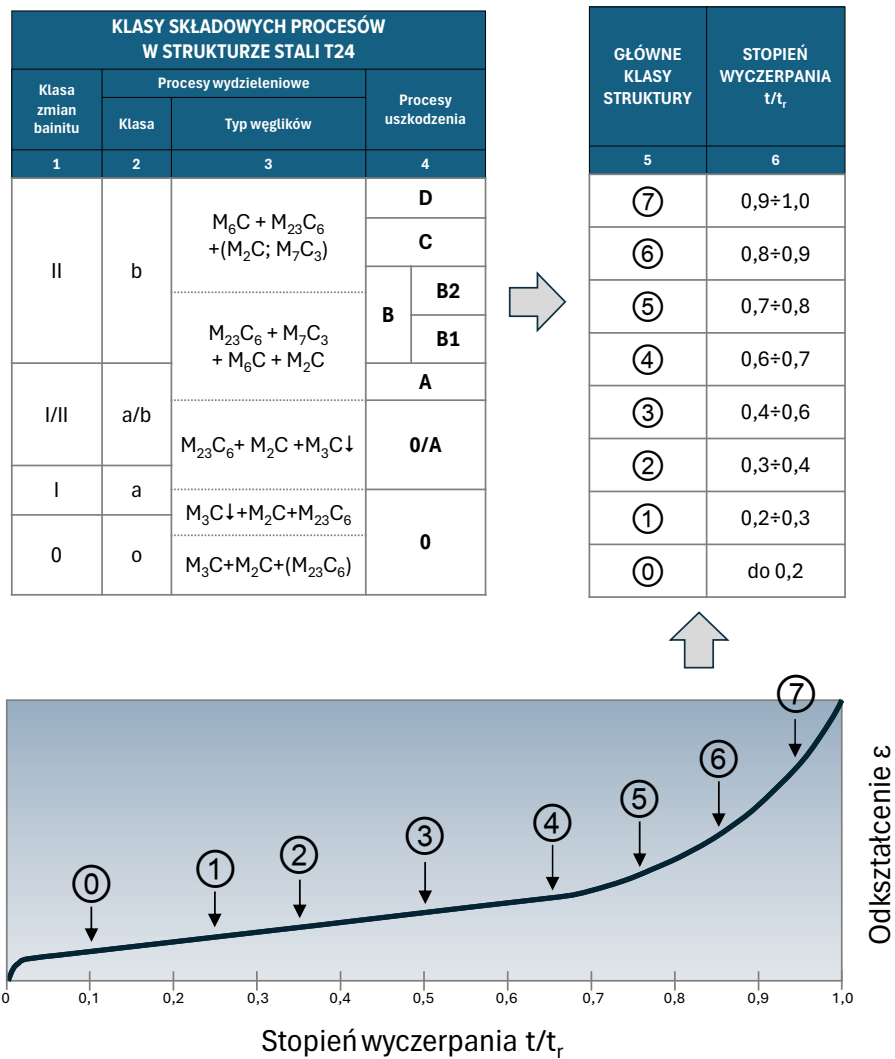
### Klasa 4

ferryt znacznej wielkości ze skoagulowanymi wydzieleniami węglików wewnątrz i w postaci łańcuszków na granicach ziarn



0	Struktura stanu wyjściowego bainit + ferryt	- Struktura bainityczno-ferrytyczna, - Nieliczne bardzo drobne wydzielenia na granicach ziarn i wewnątrz obszarów bainitycznych	Skład fazowy wydzieli	$M_{23}C_6 + M_7C_3 + M(C,N)$	Średnia średnica wydzieli	0,15+0,2 μm
			Stopień wyczerpania	0		
			Klasa struktury	0		
1	Ferryt +nieznaczny rozpad bainitu	- liczne drobne wydzielenia w obszarach bainitu i na granicach ziarn ferrytu - Pojedyncze bardzo drobne wydzielenia wewnątrz ziarn ferrytu	Skład fazowy wydzieli	$M_{23}C_6 \uparrow + M_7C_3 \downarrow + M_6C + M_2C + M(C,N)$	Średnia średnica wydzieli	0,2+0,25 μm
			Stopień wyczerpania	0,2		
			Klasa struktury	1		
2	Ferryt + częściowy zanik bainitu	- Drobne liczne wydzielenia na granicach ziarn ferrytu - Liczne bardzo drobne wydzielenia wewnątrz ziarn ferrytu i w obszarach bainitycznych - Częściowy zanik obszarów bainitu	Skład fazowy wydzieli	$M_6C \uparrow + M_{23}C_6 \uparrow + M_2C + M(C,N)$	Średnia średnica wydzieli	0,25+0,3 μm
			Stopień wyczerpania	0,3		
			Klasa struktury	2		
3	Ferryt + pozostałości bainitu	- Łańcuszki wydzieli na granicach ziarn ferrytu, - Liczne drobne wydzielenia wewnątrz ziarn ferrytu i w obszarach bainitycznych - Widoczne pozostałości bainitu	Skład fazowy wydzieli	$M_6C \uparrow \uparrow + M_{23}C_6 \uparrow + M(C,N)$	Średnia średnica wydzieli	0,3+0,35 μm
			Stopień wyczerpania	0,4		
			Klasa struktury	3		
4	Ferryt +węgliki	- Ferryt + wydzielenia - Koagulacja i koalescencja wydzieli - Catkowiły zanik obszarów bainitycznych	Skład fazowy wydzieli	$M_6C \uparrow \uparrow \uparrow + M_{23}C_6 \uparrow + M(C,N)$	Średnia średnica wydzieli	0,35+0,5 μm
			Stopień wyczerpania	0,6		
			Klasa struktury	4		

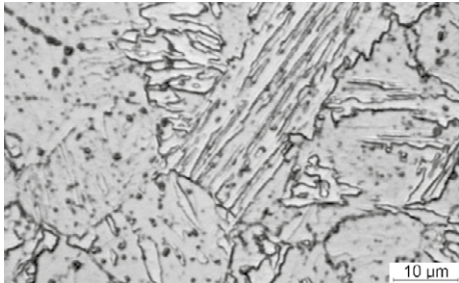
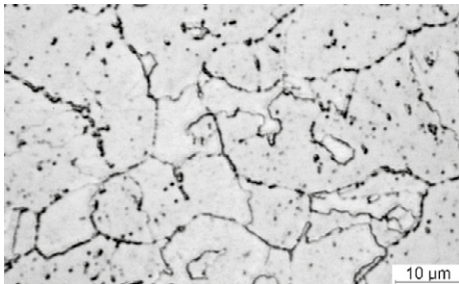
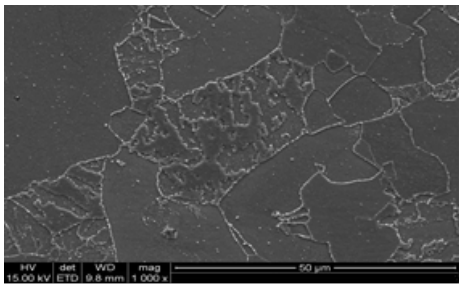
**Rys. B.14.** Klasa mikrostruktury w odniesieniu do stopnia wyczerpania na podstawie oceny zmian w strukturze: stopnia rozpadu obszarów bainitycznych, stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych oraz stopnia rozwoju wewnętrznych uszkodzeń niskostopowej stali bainityczno-ferrytycznej **7CrMoVTiB10-10 (T24)** pracującej w warunkach pełzania.

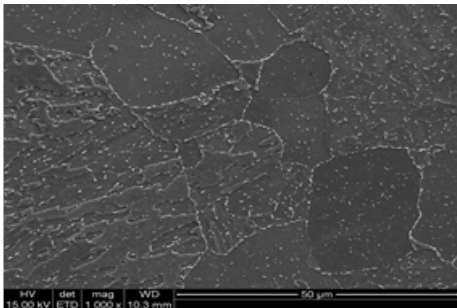
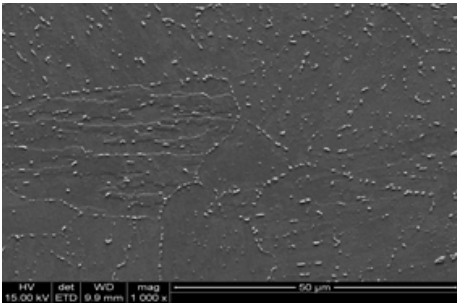
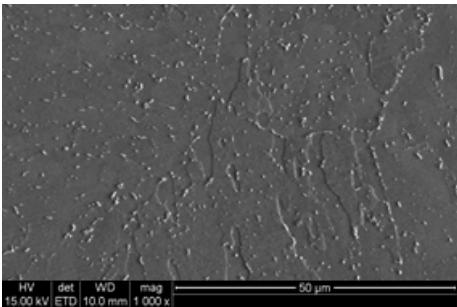


**Tablica B.13.** Okres dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy struktury niskostopowej stali bainityczno-ferrytycznej **7CrMoVTiB10-10 (T24)** pracującej w warunkach pełzania.

Stal chromowo - molibdenowa 7CrMoVTiB10-10 (T24), ferrytyczno – bainityczna					
Stan struktury	Skład fazowy wydzieleni	Klasa struktury	Stopień wyczerpania t/t <sub>r</sub>	Czas dopuszczenia do dalszej eksploatacji [h] w zależności od dotychczasowego okresu pracy	
				od 100 000 do 150 000 h	powyżej 150 000 h
<b>Struktura stanu wyjściowego lub niewiele odbiegająca od stanu wyjściowego - bainit z ferrytem:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• drobne węgliki na granicach ziarn,</li> <li>• bardzo drobne węgliki wewnątrz ziarn ferrytu,</li> <li>• pojedyncze lub nieliczne węgliki wewnątrz obszarów bainitu.</li> </ul>	$M_{23}C_6 + M_7C_3 + M(C,N)$	0	0	maks. 60 000	maks. 40 000
		0/1	do 0,2		
	$M_{23}C_6 + M_7C_3 + M_6C + M_2C + M(C,N)$	1	0,2÷0,3		
<b>Nieznaczny rozpad bainitu:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• koagulacja węglików w obszarach bainitu,</li> <li>• wydzielenia węglików na granicach ziarn ferrytu tworzące miejscami łańcuszki.</li> </ul>	$M_6C$ (wzrost udziału) + $M_{23}C_6$ (wzrost udziału) + $M_2C + M(C,N)$	2	0,3÷0,4		
<b>Znaczący rozpad bainitu:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• znaczna ilość węglików różnicowanych wielkości zgrupowanych w obszarach bainitu,</li> <li>• postępujący proces koagulacji węglików,</li> <li>• wzrost wielkości niektórych typów węglików (<math>M_{23}C_6</math>, <math>M_6C</math>)</li> </ul>	$M_6C$ (wzrost udziału) + $M_{23}C_6$ (wzrost udziału) + $M(C,N)$	3	0,4÷0,5	maks. 40 000	DT
		3/4	0,5÷0,6	maks. 30 000	DT
<b>Całkowity zanik obszarów bainitu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ferryt z węglkami,</li> <li>• dalsza koagulacja węglików w ferrycie,</li> <li>• dalszy wzrost wielkości węglików, przede wszystkim <math>M_{23}C_6</math>, <math>M_6C</math>,</li> <li>• węgliki równomiernie rozmieszczone w ferrycie,</li> <li>• możliwość występowania pustek.</li> </ul>	$M_6C$ (wzrost udziału) + $M_{23}C_6$ (wzrost udziału) + $M(C,N)$	4	> 0,6	DT	DT

**Tablica B.14.** Przykłady oceny stanu mikrostruktury niskostopowej stali ferrytyczno-bainitycznej **7CrMoVTiB10-10 (T24)** po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania.

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
1		zgląd metalograficzny trawiony mikroskop świetlny	Struktura bainityczno-ferrytyczna. Obszary bainityczne charakterystyczne dla stanu wyjściowego badanej stali. Na granicach ziarn ferrytu pojedyncze drobne wydzielenia. Wewnątrz ziarn ferrytu bardzo drobne wydzielenia dość równomiernie rozmieszczone.	<b>o; 0; 0</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>
2		zgląd metalograficzny trawiony mikroskop świetlny	Struktura bainityczno-ferrytyczna. Obszary bainityczne nieznacznie lub po części skoagulowane. Na granicach ziarn ferrytu wydzielenia zróżnicowanej wielkości. Wewnątrz ziarn ferrytu drobne wydzielenia dość równomiernie rozmieszczone.	<b>I; a; 0</b> <b>Klasa 2</b>	<b>0,3÷0,4</b>
3		zgląd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura bainityczno-ferrytyczna. Obszary bainityczne charakterystyczne dla stanu wyjściowego badanej stali. Na granicach ziarn ferrytu drobne wydzielenia tworzące miejscami łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu bardzo drobne wydzielenia dość równomiernie rozmieszczone.	<b>o; 0; 0</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>

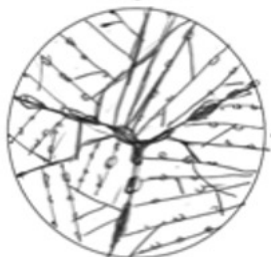
Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
4		zgiąd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura bainityczno-ferrytyczna. Obszary bainityczne tylko nieznacznie odbiegające od charakterystycznych dla stanu wyjściowego. Na granicach ziarn ferrytu bardzo drobne wydzielienia tworzące miejscami łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu bardzo drobne, równomiernie rozmieszczone wydzielienia. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>0/I; o/a; O Klasa 1</b>	<b>0,2</b>
5		zgiąd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura ferrytyczno-bainityczna. Obszary bainityczne tylko miejscami nieznacznie skoagulowane. Na granicach ziarn ferrytu bardzo drobne wydzielienia tworzące miejscami łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu w większości drobne, równomiernie rozmieszczone wydzielienia. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I; a; O Klasa 2</b>	<b>0,3</b>
6		zgiąd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura bainitu z ferrytem. Obszary bainityczne po części skoagulowane. Na granicach ziarn ferrytu wydzielienia tworzące łańcuszki. Wewnątrz ziarn ferrytu liczne wydzielienia zróżnicowanej wielkości. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I/II; a/b; O Klasa 3</b>	<b>0,4</b>

**Rys. B.15.** Model degradacji struktury martenzytycznej stali **X20CrMoV11-1 (20H12M1F)** w wyniku pełzania. Klasy struktury w zależności od stanu jej podstawowych składników i stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych w powiązaniu ze stopniem wyczerpania bez wewnętrznych uszkodzeń.



**Klasa 0**

martenzyt odpuszczony z drobnymi wydzieleniami węglików typu  $M_{23}C_6$ , głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu



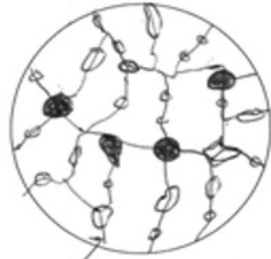
**Klasa 1,2**

częściowy zanik listew martenzytu, wydzielenia w postaci łańcuszków na granicach ziarn pierwotnego austenitu, powstawanie subziarn



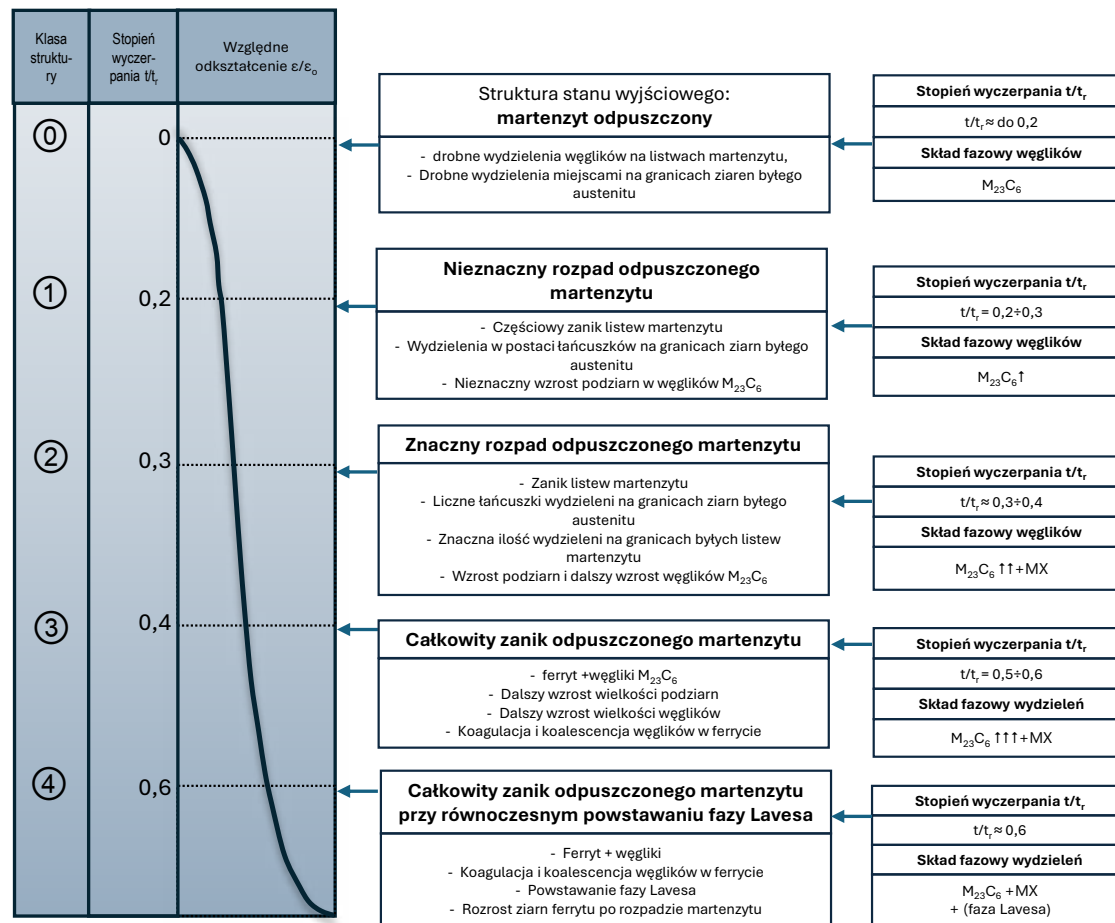
**Klasa 3**

zanik odpuszczonego martenzytu, ferryt i węgliki typu  $M_{23}C_6$ , dalszy wzrost podziarn oraz wielkości węglików w wyniku ich koagulacji i koalescencji

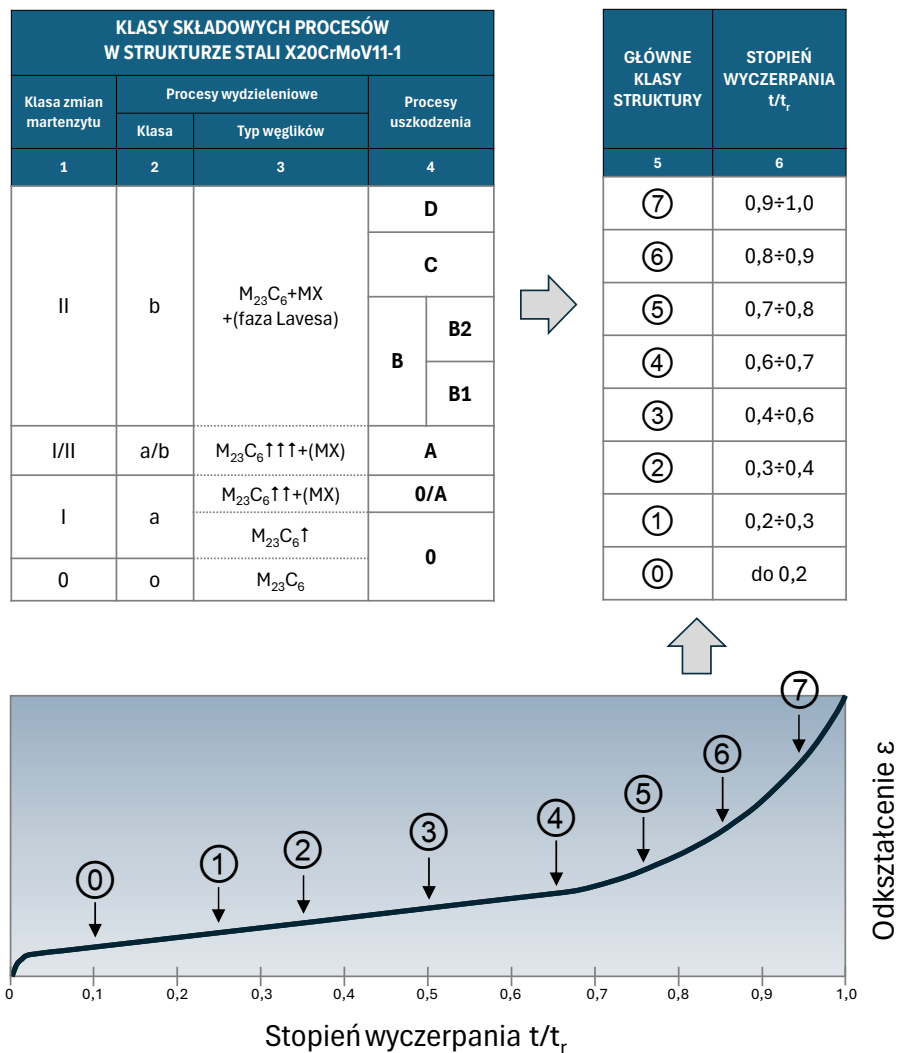


**Klasa 4**

struktura ferrytu z węglnikami, które ulegają postępującej koagulacji i koalescencji czemu towarzyszy równoczesny rozrost ziarn ferrytu po rozpadzie martenzytu oraz wydzielenie fazy Lavesa



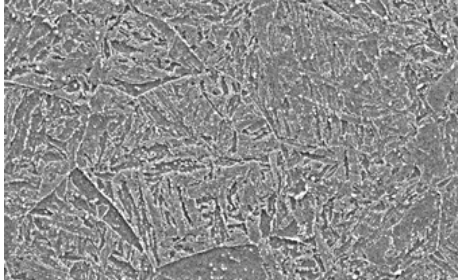
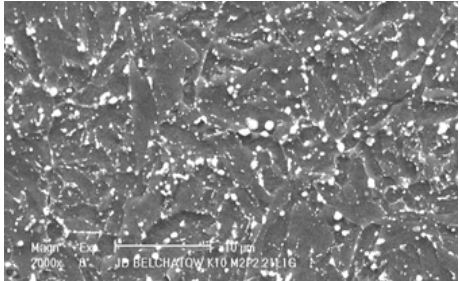
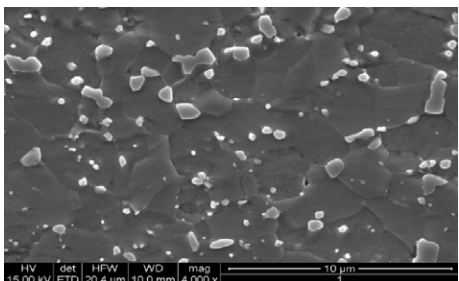
**Rys. B.16.** Klasa mikrostruktury w odniesieniu do stopnia wyczerpania na podstawie oceny zmian w strukturze: stopnia rozpadu obszarów martenzytycznych, stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych oraz stopnia rozwoju wewnętrznych uszkodzeń stali martenzytycznej **X20CrMoV11-1 (20H12M1F)** pracującej w warunkach pełzania.

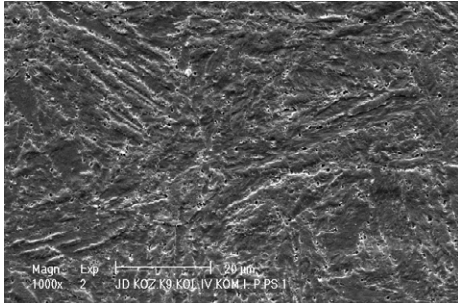
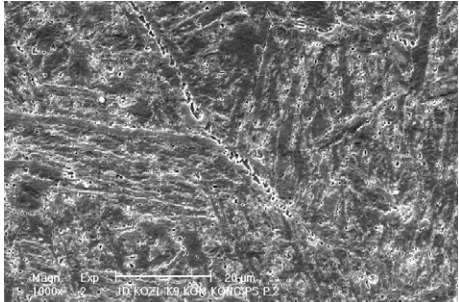
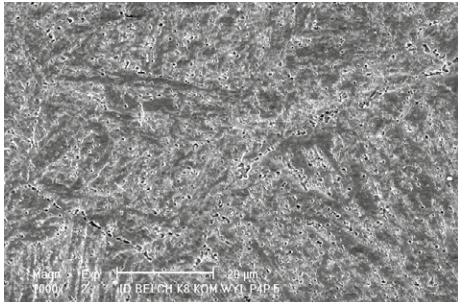


**Tablica B.15.** Okres dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy struktury stali martenzytycznej **X20CrMoV11-1 (20H12M1F)** o pracującej w warunkach pełzania.

Stal wysokochromowa X20CrMoV11-1 (20H12M1F); struktura odpuszczonego martenzytu					
Stan struktury	Skład fazowy wydzielen	Klasa struktury	Stopień wyczerpania t/t <sub>r</sub>	Czas dopuszczenia do dalszej eksploatacji [h] w zależności od dotychczasowego okresu pracy	
				od 100 000 do 150 000 h	powyżej 150 000 h
<b>Struktura stanu wyjściowego lub niewiele odbiegająca od stanu wyjściowego – martenzyt odpuszczony</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• drobne wydzielenia węglików na listwach martenzytu,</li> <li>• drobne wydzielenia miejscami na granicach ziarn byłego austenitu,</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub>	0	0	maks.	maks.
		0/1	do 0,2		
<b>Nieznaczny rozpad odpuszczonego martenzytu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• częściowy zanik listew martenzytu,</li> <li>• wydzielenia w postaci łańcuszków na granicach ziarn byłego austenitu,</li> <li>• nieznaczny wzrost podziarn i węglików M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (wzrost udziału)	1	0,2 - 0,3	60 000	40 000
<b>Znaczący rozpad odpuszczonego martenzytu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zanik listew martenzytu,</li> <li>• liczne łańcuszki wydzielen na granicach ziarn byłego austenitu,</li> <li>• wzrost podziarn dalszy i wzrost węglików M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (dalszy wzrost udziału) + MX	2	0,3 - 0,4	maks. 40 000	maks. 30 000
<b>Całkowity zanik odpuszczonego martenzytu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ferryt + węgliki M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>,</li> <li>• dalszy wzrost wielkości podziarn,</li> <li>• dalszy wzrost wielkości węglików,</li> <li>• koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie.</li> </ul>		3	0,4÷0,5	maks. 30 000	DT
	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (dalszy wzrost udziału) + MX	3/4	0,5÷0,6	DT	DT
<b>Całkowity zanik odpuszczonego martenzytu przy równoczesnym powstaniu fazy Lavesa:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ferryt + węgliki,</li> <li>• koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie,</li> <li>• powstanie fazy Lavesa,</li> <li>• rozrost ziarn ferrytu po rozpadzie martenzytu.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> + MX + (faza Lavesa)	4	> 0,6	DT	DT

Tablica B.16. Przykłady oceny stanu mikrostruktury stali martenzytycznej X20CrMoV11-1 (20H12M1F) po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania.

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
1		zgiąd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Martenzyt odpuszczony z drobnymi wydzieleniami węglików typu $M_{23}C_6$ , głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu.	<b>o; 0; 0</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>
2		zgiąd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Znaczny zanik odpuszczonego martenzytu. Powstanie podziarn i wzrost wielkości wydzielań w wyniku koagulacji i koalescencji. Liczne wydzielenia głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu.  Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.  Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I/II; a/b; 0</b> <b>Klasa 2/3</b>	<b>0,3÷0,4</b>
3		zgiąd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Całkowity rozpad odpuszczonego martenzytu. Struktura ferrytu z wydzieleniami węglików i faz międzymetalicznych znacznej wielkości. Możliwość występowania pustek.	<b>II; b; 0</b> <b>Klasa 4</b>	<b>powyżej 0,4</b>

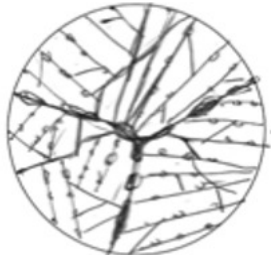
Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
4		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Martenzyt odpuszczony z drobnymi wydzieleniami węglików typu $M_{23}C_6$ , głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu.	<b>0/I; o/a; O</b> <b>Klasa 0/1</b>	<b>do 0,2</b>
5		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Nieznaczny zanik listew martenzytu. Drobne wydzielenia węglików typu $M_{23}C_6$ na granicach listew. Na granicach ziarn pierwotnego austenitu wydzielenia tworzące łańcuszki.	<b>I ; a; O</b> <b>Klasa 2</b>	<b>0,3÷0,4</b>
6		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Częściowy zanik listew martenzytu. Drobne wydzielenia węglików typu $M_{23}C_6$ na granicach listew.	<b>I/II; a; O</b> <b>Klasa 2/3</b>	<b>0,4</b>

**Rys. B.17.** Model degradacji struktury martenzytycznej stali **X10CrMoVNb9-1 (P91)** w wyniku pełzania. Klasy struktury w zależności od stanu jej podstawowych składników i stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych w powiązaniu ze stopniem wyczerpania bez wewnętrznych uszkodzeń.



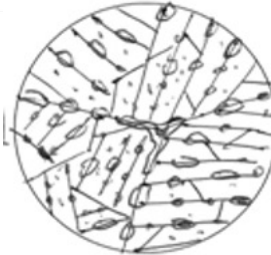
### Klasa 0

martenzyt odpuszczony z drobnymi wydzieleniami węglików typu  $M_{23}C_6$ , głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu



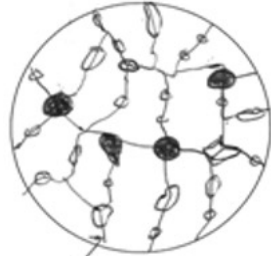
### Klasa 1,2

częściowy zanik listew martenzytu, wydzielienia w postaci łańcuszków na granicach ziarn pierwotnego austenitu, powstawanie subziarn



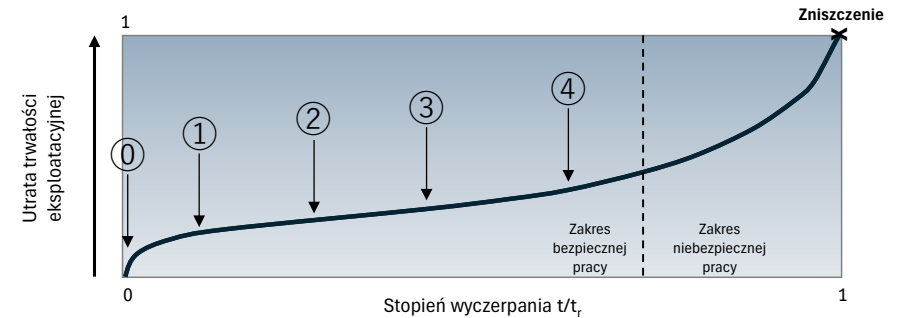
### Klasa 3

zanik odpuszczonego martenzytu, ferryt i węgliki typu  $M_{23}C_6$ , dalszy wzrost podziarn oraz wielkości węglików w wyniku ich koagulacji i koalescencji



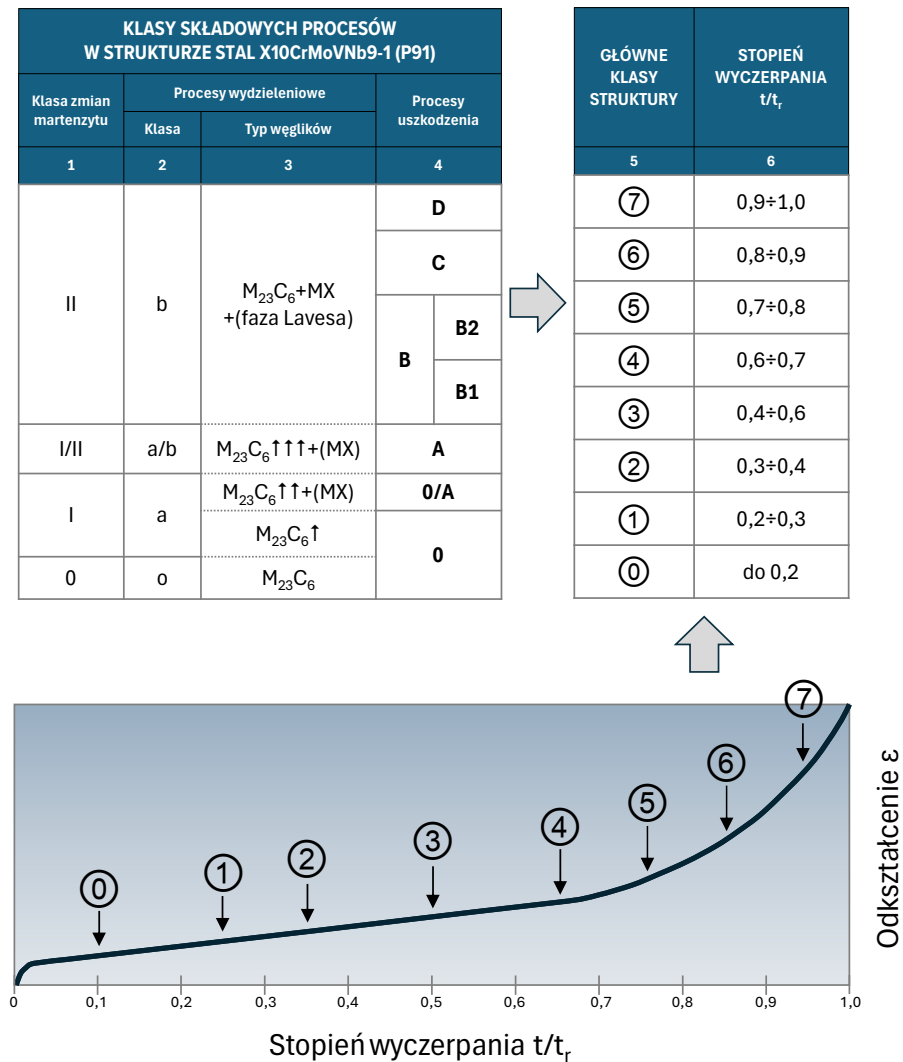
### Klasa 4

struktura ferrytu z węglnikami, które ulegają postępującej koagulacji i koalescencji czemu towarzyszy równoczesny rozrost ziarn ferrytu po rozpadzie martenzytu oraz wydzielanie fazy Lavesa



0	Struktura stanu wyjściowego martenzyt odpuszczony	Bardzo drobne wydzielienia węglików na listwach martenzytu, Bardzo drobne wydzielienia na granicach ziarn byłego austenitu	Skład fazowy wydzieli	$M_{23}C_6 + M(C,N)$	Średnia średnica wydzieli	$> 0,2 \mu m$
	Stopecz wyczerpania	0	Klasa struktury	0		
1	nieznaczny rozpad martenzytu odpuszczonego	- Nieznaczny zanik listew martenzytu - Drobne wydzielienia w postaci łańcuszków na granicach ziarn byłego austenitu i listwach martenzytu - Nieznaczny wzrost podziarn	Skład fazowy wydzieli	$M_{23}C_6 \uparrow + M(C,N) + \text{Faza Lavesa}$	Średnia średnica wydzieli	$0,2 + 0,3 \mu m$
	Stopecz wyczerpania	0,2	Klasa struktury	1		
2	Częściowy rozpad martenzytu odpuszczonego	- Częściowy zanik listew martenzytu - Liczne łańcuszki wydzieli na granicach ziarn byłego austenitu, - Znaczna ilość wydzieli na granicach listew martenzytu - Wzrost podziarn i wydzieli	Skład fazowy wydzieli	$M_{23}C_6 \uparrow \uparrow + \text{Faza Lavesa} + M(C,N)$	Średnia średnica wydzieli	$0,3 + 0,4 \mu m$
	Stopecz wyczerpania	0,3	Klasa struktury	2		
3	Znaczny rozpad martenzytu odpuszczonego	- Znaczny zanik listew martenzytu, - Dalszy wzrost wielkości podziarn, - Dalszy wzrost wielkości wydzieli, - Koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie	Skład fazowy wydzieli	$M_{23}C_6 \uparrow \uparrow \uparrow + \text{Faza Lavesa} \uparrow + M(C,N)$	Średnia średnica wydzieli	$0,4 + 0,5 \mu m$
	Stopecz wyczerpania	0,4	Klasa struktury	3		
4	Zanik martenzytu odpuszczonego	- Ferryt + wydzielienia - Koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie - Rozrost ziarn ferrytu po rozpadzie martenzytu	Skład fazowy wydzieli	$M_{23}C_6 \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow + \text{Faza Lavesa} \uparrow + M(C,N)$	Średnia średnica wydzieli	$< 0,5 \mu m$
	Stopecz wyczerpania	0,6	Klasa struktury	4		

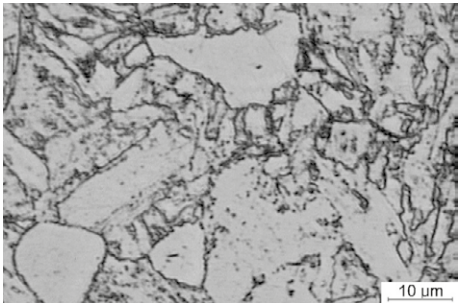
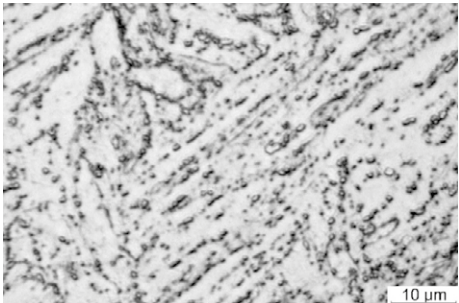
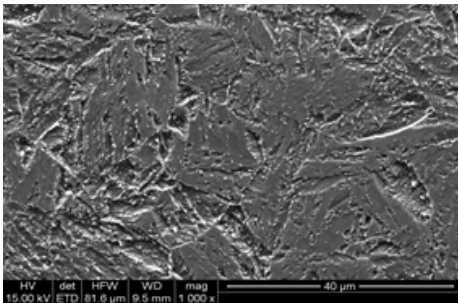
**Rys. B.18.** Klasa mikrostruktury w odniesieniu do stopnia wyczerpania na podstawie oceny zmian w strukturze: stopnia rozpadu obszarów martenzytycznych, stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych oraz stopnia rozwoju wewnętrznych uszkodzeń stali martenzytycznej **X10CrMoVNb9-1 (P91)** pracującej w warunkach pełzania.

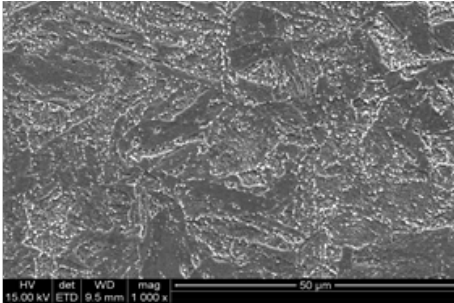
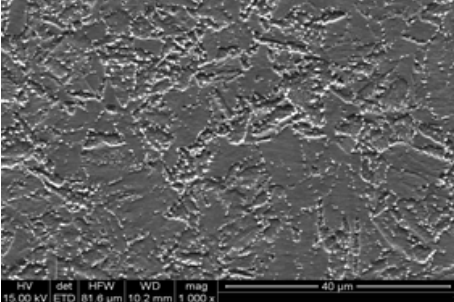
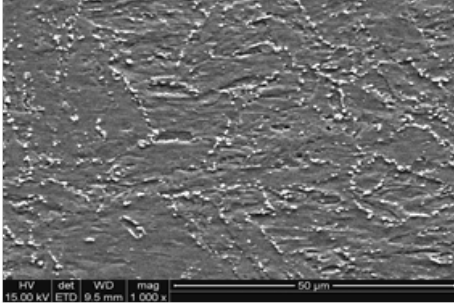


**Tablica B.17.** Okres dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy struktury stali martenzytycznej **X10CrMoVNb9-1 (P91)** o pracującej w warunkach pełzania.

Stal wysokochromowa X10CrMoVNb9-1 (P91); struktura odpuszczonego martenzytu					
Stan struktury	Skład fazowy wydzieliń	Klasa struktury	Stopień wyczerpania t/t <sub>r</sub>	Czas dopuszczenia do dalszej eksploatacji [h] w zależności od dotychczasowego okresu pracy	
				od 100 000 do 150 000 h	powyżej 150 000 h
<b>Struktura stanu wyjściowego lub niewiele odbiegająca od stanu wyjściowego – martenzyt odpuszczony</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● drobne wydzielenia węglików na listwach martenzytu,</li> <li>● drobne wydzielenia miejscami na granicach ziarn byłego austenitu.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> + M(C,N)	0	0	maks.	maks.
		0/1	do 0,2		
<b>Nieznaczny rozpad odpuszczonego martenzytu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● częściowy zanik listew martenzytu,</li> <li>● wydzielenia w postaci łańcuszków na granicach ziarn byłego austenitu,</li> <li>● nieznaczny wzrost podziarn i węglików M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (wzrost udziału) + M(C,N)	1	0,2 - 0,3	60 000	40 000
<b>Znaczący rozpad odpuszczonego martenzytu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● zanik listew martenzytu,</li> <li>● liczne łańcuszki wydzieliń na granicach ziarn byłego austenitu,</li> <li>● wzrost podziarn dalszy i wzrost węglików M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (dalszy wzrost udziału) + M(C,N)	2	0,3 - 0,4	maks. 40 000	maks. 30 000
<b>Całkowity zanik odpuszczonego martenzytu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ferryt + węgliki M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>,</li> <li>● dalszy wzrost wielkości podziarn,</li> <li>● dalszy wzrost wielkości węglików,</li> <li>● koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> + (faza Lavesa) + (dalszy wzrost udziału) + M(C,N)	3	0,4÷0,5	maks. 30 000	DT
		3/4	0,5÷0,6	DT	DT
<b>Całkowity zanik odpuszczonego martenzytu przy równoczesnym powstaniu fazy Lavesa:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ferryt + węgliki,</li> <li>● koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie,</li> <li>● powstanie fazy Lavesa,</li> <li>● rozrost ziarn ferrytu po rozpadzie martenzytu.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> + (faza Lavesa) + M(C,N)	4	> 0,6	DT	DT

Tablica B.18. Przykłady oceny stanu mikrostruktury stali martenzytycznej X10CrMoVNb9-1 (P91) po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania.

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
1		zgiąd metalograficzny trawiony mikroskop świetlny	Martenzyt odpuszczony z drobnymi wydzieleniami węglików typu $M_{23}C_6$ , głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu.	<b>o; 0; 0</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>
2		zgiąd metalograficzny trawiony mikroskop świetlny	Znaczny zanik odpuszczonego martenzytu. Powstanie podziarn i wzrost wielkości wydzieleni w wyniku koagulacji i koalescencji. Liczne wydzielenia głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu.  Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.  Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I/II; a/b; 0</b> <b>Klasa 2/3</b>	<b>0,3÷0,4</b>
3		zgiąd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Martenzyt odpuszczony z drobnymi wydzieleniami węglików typu $M_{23}C_6$ , głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu.	<b>0; o; 0</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>

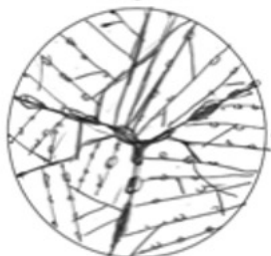
Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
4		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Martenzyt odpuszczony z drobnymi wydzieleniami węglików typu $M_{23}C_6$ , głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>0/I; o/a; O</b> <b>Klasa 0/1</b>	<b>0,2</b>
5		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Nieznaczny zanik listew martenzytu. Drobne wydzielenia węglików typu $M_{23}C_6$ na granicach listew. Na granicach ziarn pierwotnego austenitu wydzielenia tworzące łańcuszki.  Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.  Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I ; a; O</b> <b>Klasa 2</b>	<b>0,3</b>
6		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Znaczny zanik odpuszczonego martenzytu. Powstanie podziarn i wzrost wielkości wydzieleni w wyniku koagulacji i koalescencji. Liczne wydzielenia głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu tworzące łańcuszki.  Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.  Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I/II; a; O</b> <b>Klasa 3</b>	<b>0,4</b>

**Rys. B.19.** Model degradacji struktury martenzytycznej stali **X10CrWMoVNb9-2 (P92)** w wyniku pełzania. Klasy struktury w zależności od stanu jej podstawowych składników i stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych w powiązaniu ze stopniem wyczerpania bez wewnętrznych uszkodzeń.



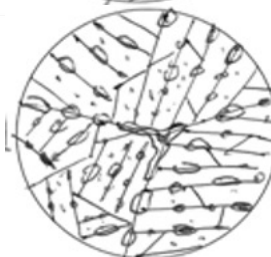
### Klasa 0

martenzyt odpuszczony z drobnymi wydzieleniami węglików typu  $M_{23}C_6$ , głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu



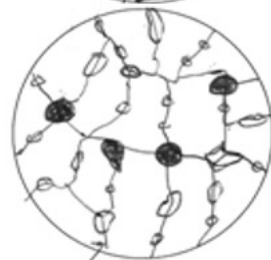
### Klasa 1,2

częściowy zanik listew martenzytu, wydzielenia w postaci łańcuszków na granicach ziarn pierwotnego austenitu, powstawanie subziarn



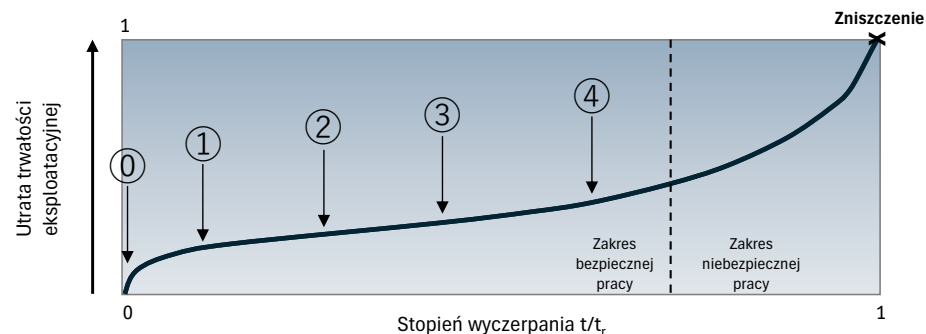
### Klasa 3

zanik odpuszczonego martenzytu, ferryt i węgliki typu  $M_{23}C_6$ , dalszy wzrost podziarn oraz wielkości węglików w wyniku ich koagulacji i koalescencji



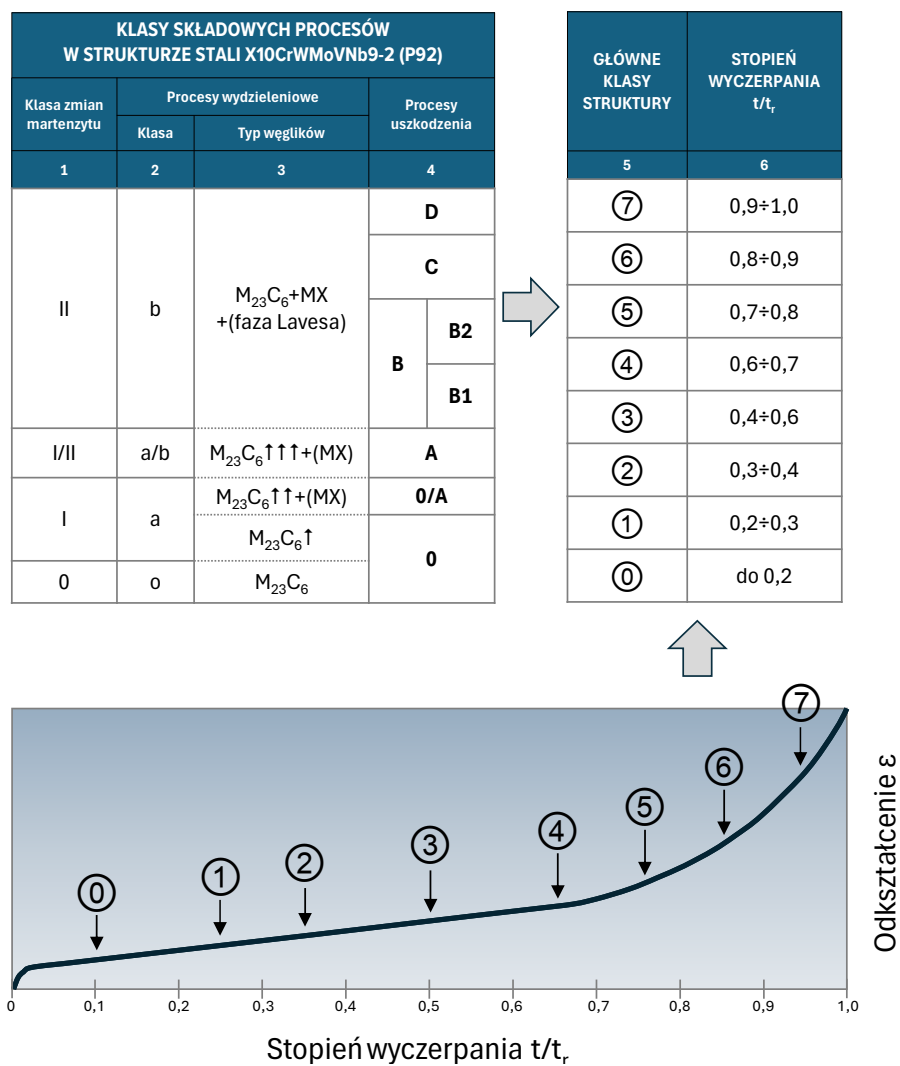
### Klasa 4

struktura ferrytu z węglnikami, które ulegają postępującej koagulacji i koalescencji czemu towarzyszy równoczesny rozrost ziarn ferrytu po rozpadzie martenzytu oraz wydzielenie fazy Lavesa



0	Struktura stanu wyjściowego martenzyt odpuszczony	- Bardzo drobne wydzielenia węglików na listwach martenzytu, - drobne wydzielenia na granicach ziarn byłego austenitu	Skład fazowy wydzieli	$M_{23}C_6 + M(C,N)$	Średnia średnica wydzieli	> 0,2 $\mu m$
	Stoپیeń wyczerpania	0				
	Klasa struktury	0				
1	nieznaczny rozpad martenzytu odpuszczonego	- Nieznaczny zanik listew martenzytu - Drobne wydzielenia w postaci łańcuszków na granicach ziarn byłego austenitu i listwach martenzytu - Nieznaczny wzrost podziarn	Skład fazowy wydzieli	$M_{23}C_6 \uparrow + M(C,N) + \text{Faza Lavesa}$	Średnia średnica wydzieli	0,2+0,3 $\mu m$
	Stoپیeń wyczerpania	0,2				
	Klasa struktury	1				
2	Częściowy rozpad martenzytu odpuszczonego	- Częściowy zanik listew martenzytu - Liczne zróżnicowanej wielkości wydzielenia na granicach ziarn byłego austenitu - Znaczna ilość wydzieli na granicach listew martenzytu - Wzrost podziarn i wydzieli	Skład fazowy wydzieli	$M_{23}C_6 \uparrow \uparrow + \text{Faza Lavesa} + M(C,N)$	Średnia średnica wydzieli	0,3+0,4 $\mu m$
	Stoپیeń wyczerpania	0,3				
	Klasa struktury	2				
3	Znaczny rozpad martenzytu odpuszczonego	- Znaczny zanik listew martenzytu, - Dalszy wzrost wielkości podziarn, - Dalszy wzrost wielkości wydzieli, - Koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie	Skład fazowy wydzieli	$M_{23}C_6 \uparrow \uparrow \uparrow + \text{Faza Lavesa} \uparrow + M(C,N)$	Średnia średnica wydzieli	0,4+0,5 $\mu m$
	Stoپیeń wyczerpania	0,4				
	Klasa struktury	3				
4	Zanik martenzytu odpuszczonego	- Ferryt + wydzielenia - Koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie - Rozrost ziarn ferrytu po rozpadzie martenzytu	Skład fazowy wydzieli	$M_{23}C_6 \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow + \text{Faza Lavesa} \uparrow + M(C,N)$	Średnia średnica wydzieli	< 0,5 $\mu m$
	Stoپیeń wyczerpania	0,6				
	Klasa struktury	4				

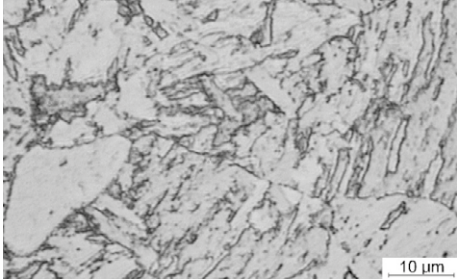
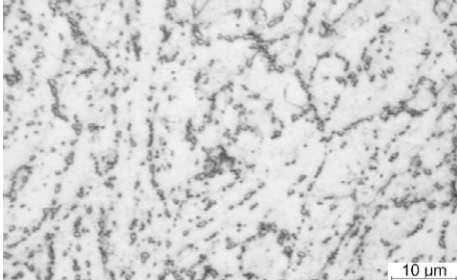
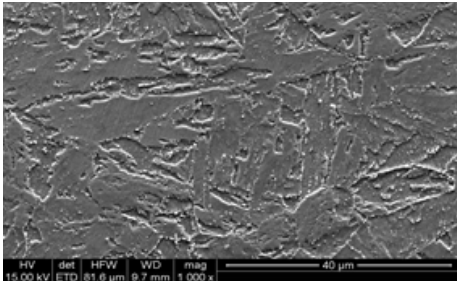
**Rys. B.20.** Klasa mikrostruktury w odniesieniu do stopnia wyczerpania na podstawie oceny zmian w strukturze: stopnia rozpadu obszarów martenzytycznych, stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych oraz stopnia rozwoju wewnętrznych uszkodzeń stali martenzytycznej **X10CrWMoVNb9-2 (P92)** pracującej w warunkach pełzania.

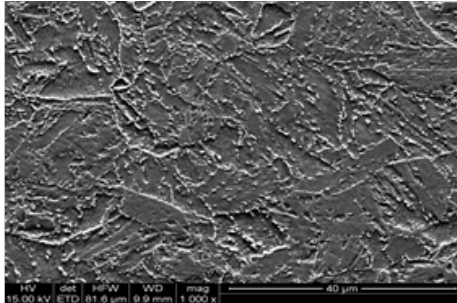
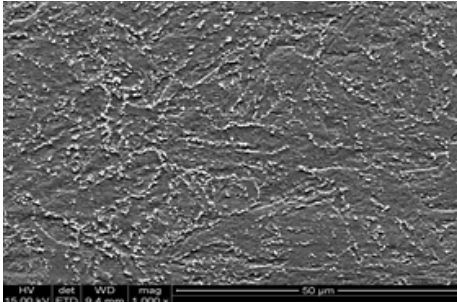
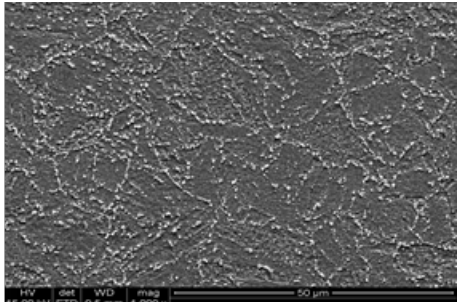


**Tablica B.19.** Okres dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy struktury stali martenzytycznej **X10CrWMoVNb9-2 (P92)** o pracującej w warunkach pełzania.

Stal wysokochromowa X10CrWMoVNb9-2 (P92); struktura odpuszczonego martenzytu					
Stan struktury	Skład fazowy wydzielań	Klasa struktury	Stopień wyczerpania t/t <sub>0</sub>	Czas dopuszczenia do dalszej eksploatacji [h] w zależności od dotychczasowego okresu pracy	
				od 100 000 do 150 000 h	powyżej 150 000 h
<b>Struktura stanu wyjściowego lub niewiele odbiegająca od stanu wyjściowego – martenzyt odpuszczony</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• drobne wydzielenia węglików na listwach martenzytu,</li> <li>• drobne wydzielenia miejscami na granicach ziarn byłego austenitu.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> + M(C,N)	0	0	maks. 60 000	maks. 40 000
		0/1	do 0,2		
<b>Nieznaczny rozpad odpuszczonego martenzytu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• częściowy zanik listew martenzytu,</li> <li>• wydzielenia w postaci łańcuszków na granicach ziarn byłego austenitu,</li> <li>• nieznaczny wzrost podziarn i węglików M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (wzrost udziału) + M(C,N)	1	0,2 - 0,3		
<b>Znaczny rozpad odpuszczonego martenzytu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zanik listew martenzytu,</li> <li>• liczne łańcuszki wydzielań na granicach ziarn byłego austenitu,</li> <li>• wzrost podziarn dalszy i wzrost węglików M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (dalszy wzrost udziału) + M(C,N)	2	0,3 - 0,4	maks. 40 000	maks. 30 000
<b>Całkowity zanik odpuszczonego martenzytu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ferryt + węgliki M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>,</li> <li>• dalszy wzrost wielkości podziarn,</li> <li>• dalszy wzrost wielkości węglików,</li> <li>• koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> + (faza Lavesa) + (dalszy wzrost udziału) + M(C,N)	3	0,4÷0,5	maks. 30 000	DT
		3/4	0,5÷0,6	DT	DT
<b>Całkowity zanik odpuszczonego martenzytu przy równoczesnym powstaniu fazy Lavesa:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ferryt + węgliki,</li> <li>• koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie,</li> <li>• powstanie fazy Lavesa,</li> <li>• rozrost ziarn ferrytu po rozpadzie martenzytu.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> + (faza Lavesa) + M(C,N)	4	> 0,6	DT	DT

**Tablica B. 20.** Przykłady oceny stanu mikrostruktury stali martenzytycznej **X10CrWMoVNb9-2 (P92)** po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania.

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenia	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
1		zgiąd metalograficzny trawiony mikroskop świetlny	Martensyt odpuszczony z drobnymi wydzieleniami węglików typu $M_{23}C_6$ , głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu.	<b>o; 0; 0</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>
2		zgiąd metalograficzny trawiony mikroskop świetlny	Znaczny zanik odpuszczonego martenzytu. Powstanie podziarn i wzrost wielkości wydzieleni w wyniku koagulacji i koalescencji. Liczne wydzielenia głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu tworzące łańcuszki.  Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.  Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I/II; a/b; 0</b> <b>Klasa 2/3</b>	<b>0,3÷0,4</b>
3		zgiąd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Martensyt odpuszczony z drobnymi wydzieleniami węglików typu $M_{23}C_6$ , głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu.	<b>0; o; 0</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>

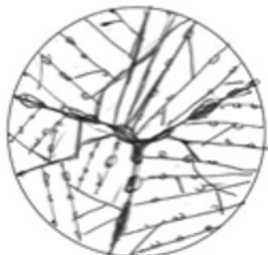
Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
4		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikro- skop elektronowy	Martenzyt odpuszczony z drobnymi wydzieleniami węglików typu $M_{23}C_6$ , głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu.  Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.  Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>0/I; o/a; O</b> <b>Klasa 0/1</b>	<b>0,2</b>
5		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikro- skop elektronowy	Nieznaczny zanik listew martenzytu. Drobne wydzielenia węglików typu $M_{23}C_6$ na granicach listew. Na granicach ziarn pierwotnego austenitu wydzielenia tworzące łańcuszki. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.  Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I ; a; O</b> <b>Klasa 2</b>	<b>0,3</b>
6		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikro- skop elektronowy	Znaczny zanik odpuszczonego martenzytu. Powstanie podziarn i wzrost wielkości wydzielen w wyniku koagulacji i koalescencji. Liczne wydzielenia głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu tworzące łańcuszki.  Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia.  Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I/II; a; O</b> <b>Klasa 3</b>	<b>0,4</b>

**Rys. B.21.** Model degradacji struktury martenzytycznej stali **X12CrCoWVNb12-2-2 (VM12-SHC)** w wyniku pełzania. Klasy struktury w zależności od stanu jej podstawowych składników i stopnia rozwoju procesów wydzieleniowych w powiązaniu ze stopniem wyczerpania bez wewnętrznych uszkodzeń.



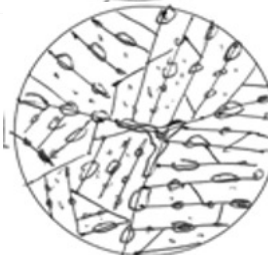
### Klasa 0

martenzyt odpuszczony z drobnymi wydzieleniami węglików typu  $M_{23}C_6$ , głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu



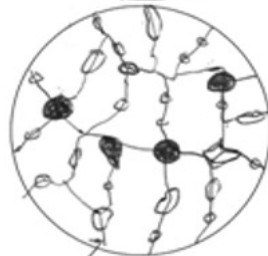
### Klasa 1,2

częściowy zanik listew martenzytu, wydzielenia w postaci łańcuszków na granicach ziarn pierwotnego austenitu, powstawanie subziarn



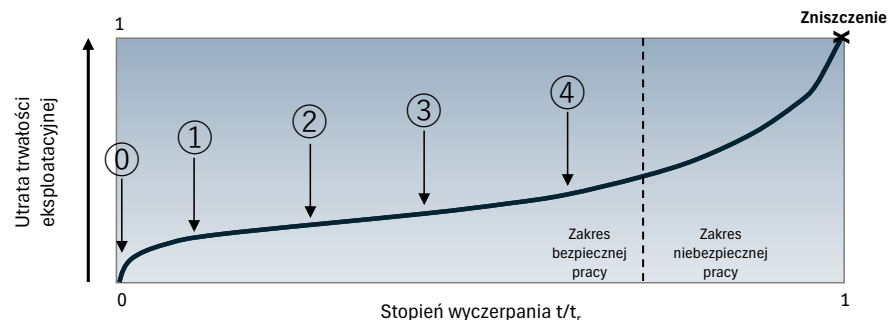
### Klasa 3

zanik odpuszczonego martenzytu, ferryt i węgliki typu  $M_{23}C_6$ , dalszy wzrost podziarn oraz wielkości węglików w wyniku ich koagulacji i koalescencji



### Klasa 4

struktura ferrytu z węglnikami, które ulegają postępującej koagulacji i koalescencji czemu towarzyszy równoczesny rozrost ziarn ferrytu po rozpadzie martenzytu oraz wydzielenie fazy Lavesa



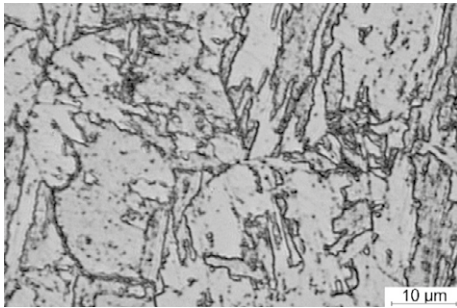
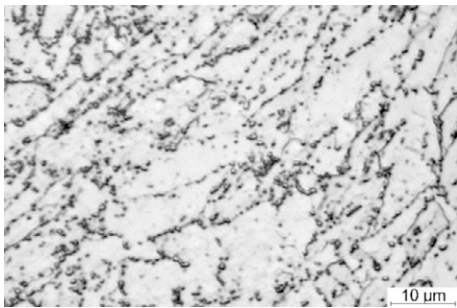
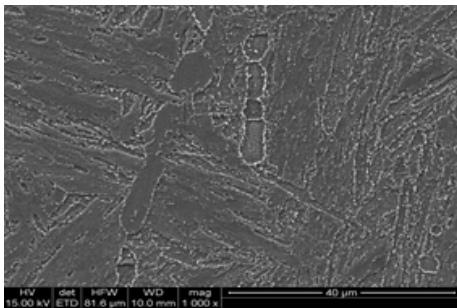
0	Struktura stanu wyjściowego martenzytu odpuszczony z niewielką zawartością ferrytu	- Bardzo drobne wydzielenia węglików na listwach martenzytu, - drobne wydzielenia na granicach ziarn byłego austenitu i granicach ferrytu $\delta$	Skład fazowy wydzieli	$M_{23}C_6 + M(C,N)$	Średnia średnica wydzieli	$> 0,2 \mu m$
	Stopień wyczerpania	0	Klasa struktury	0		
1	nieznaczny rozpad martenzytu odpuszczonego	- Nieznaczny zanik listew martenzytu - Drobne wydzielenia w postaci łańcuszków na granicach ziarn byłego austenitu, listwach martenzytu i ferrytu $\delta$ - Nieznaczny wzrost podziarn	Skład fazowy wydzieli	$M_{23}C_6 \uparrow + M(C,N) + \text{Faza Lavesa}$	Średnia średnica wydzieli	$0,2 \div 0,4 \mu m$
	Stopień wyczerpania	0,2	Klasa struktury	1		
2	Częściowy rozpad martenzytu odpuszczonego	- Częściowy zanik listew martenzytu - Liczne łańcuszki wydzieli na granicach ziarn byłego austenitu - Znaczna ilość wydzieli na granicach listew martenzytu i ferrytu $\delta$ - Wzrost podziarn i wydzieli	Skład fazowy wydzieli	$M_{23}C_6 \uparrow \uparrow + \text{Faza Lavesa} + M(C,N)$	Średnia średnica wydzieli	$0,4 \div 0,6 \mu m$
	Stopień wyczerpania	0,3	Klasa struktury	2		
3	Znaczny rozpad martenzytu odpuszczonego	- Znaczny zanik listew martenzytu, - Dalszy wzrost wielkości podziarn, - Dalszy wzrost wielkości wydzieli, - koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie	Skład fazowy wydzieli	$M_{23}C_6 \uparrow \uparrow + \text{Faza Lavesa} \uparrow + M(C,N)$	Średnia średnica wydzieli	$0,6 \div 0,8 \mu m$
	Stopień wyczerpania	0,4	Klasa struktury	3		
4	Zanik martenzytu odpuszczonego	- Ferryt + wydzielenia - Koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie - Rozrost ziarn ferrytu po rozpadzie martenzytu	Skład fazowy wydzieli	$M_{23}C_6 \uparrow \uparrow \uparrow + \text{Faza Lavesa} \uparrow + M(C,N)$	Średnia średnica wydzieli	$< 1,0 \mu m$
	Stopień wyczerpania	0,6	Klasa struktury	4		

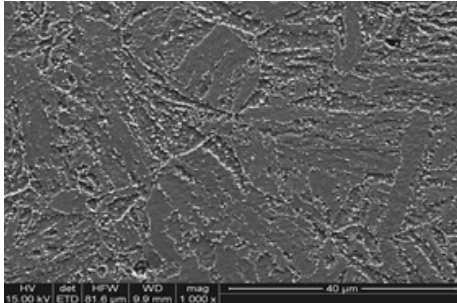
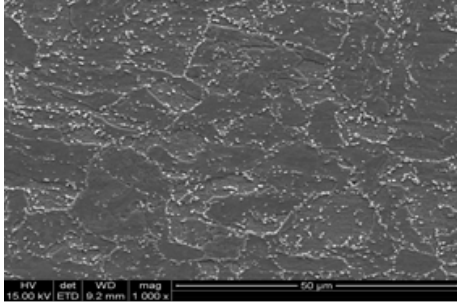
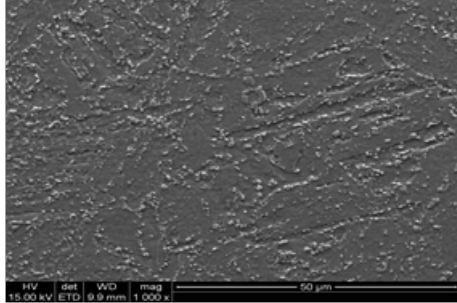


**Tablica B.21.** Okres dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy struktury stali martenzytycznej **X12CrCoWVNb12-2-2 (VM12-SHC)** o pracującej w warunkach pełzania.

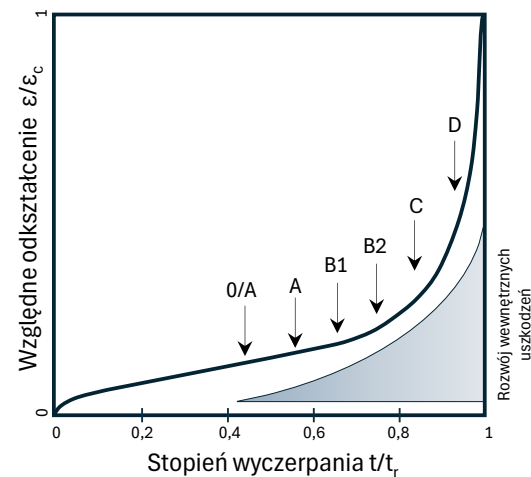
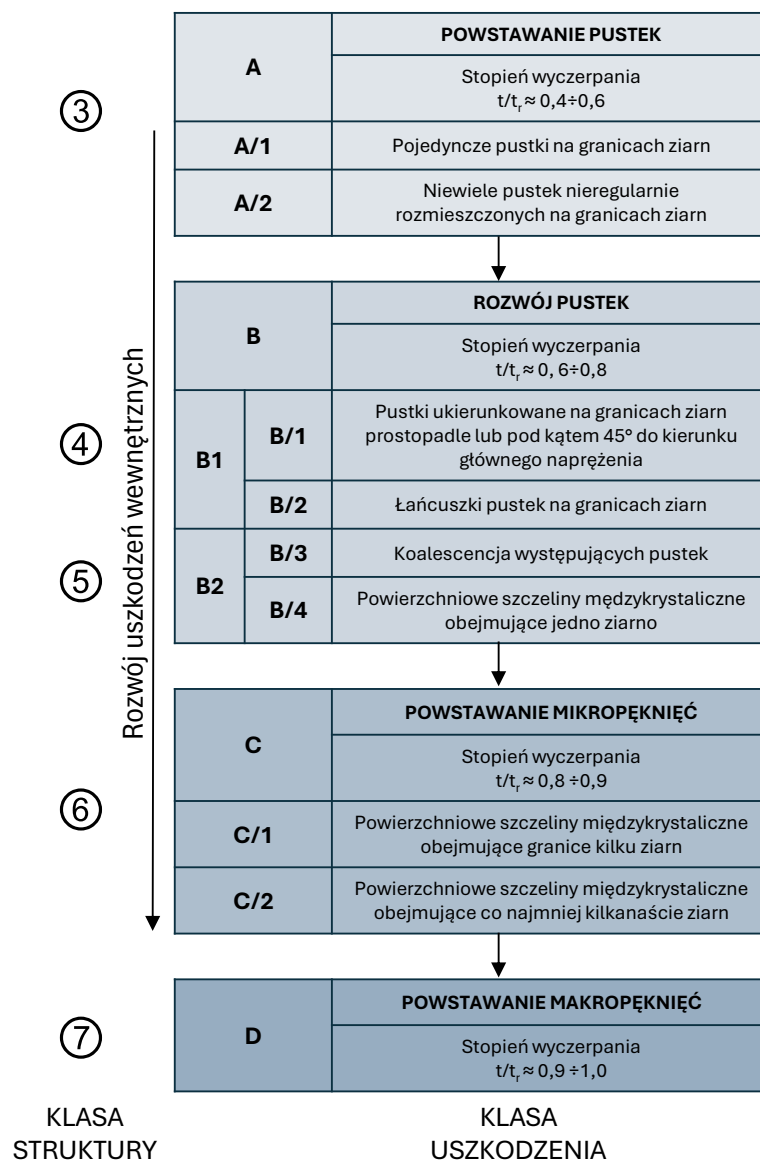
Stal wysokochromowa X12CrCoWVNb12-2-2 (VM12-SHC); struktura odpuszczonego martenzytu					
Stan struktury	Skład fazowy wydzieliń	Klasa struktury	Stopień wyczerpania t/t <sub>r</sub>	Czas dopuszczenia do dalszej eksploatacji [h] w zależności od dotychczasowego okresu pracy	
				od 100 000 do 150 000 h	powyżej 150 000 h
<b>Struktura stanu wyjściowego lub niewiele odbiegająca od stanu wyjściowego – martenzyt odpuszczony</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● drobne wydzielenia węglików na listwach martenzytu,</li> <li>● drobne wydzielenia miejscami na granicach ziarn byłego austenitu.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> + M(C,N)	0	0	maks. 60 000	maks. 40 000
		0/1	do 0,2		
<b>Nieznaczny rozpad odpuszczonego martenzytu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● częściowy zanik listew martenzytu,</li> <li>● wydzielenia w postaci łańcuszków na granicach ziarn byłego austenitu,</li> <li>● nieznaczny wzrost podziarn i węglików M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (wzrost udziału) + (faza Lavesa)+M(C,N)	1	0,2 - 0,3		
<b>Znaczący rozpad odpuszczonego martenzytu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● zanik listew martenzytu,</li> <li>● liczne łańcuszki wydzieliń na granicach ziarn byłego austenitu,</li> <li>● wzrost podziarn dalszy i wzrost węglików M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> (dalszy wzrost udziału) + M(C,N)	2	0,3 - 0,4	maks. 40 000	maks. 30 000
<b>Całkowity zanik odpuszczonego martenzytu</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ferryt + węgliki M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>,</li> <li>● dalszy wzrost wielkości podziarn,</li> <li>● dalszy wzrost wielkości węglików,</li> <li>● koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie,</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> + (faza Lavesa) + (dalszy wzrost udziału) + M(C,N)	3	0,4÷0,5	maks. 30 000	DT
		3/4	0,5÷0,6	DT	DT
<b>Całkowity zanik odpuszczonego martenzytu przy równoczesnym powstaniu fazy Lavesa:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ferryt + węgliki,</li> <li>● koagulacja i koalescencja węglików w ferrycie,</li> <li>● powstanie fazy Lavesa,</li> <li>● rozrost ziarn ferrytu po rozpadzie martenzytu.</li> </ul>	M <sub>23</sub> C <sub>6</sub> + (faza Lavesa) + M(C,N)	4	> 0,6	DT	DT

Tablica B. 22. Przykłady oceny stanu mikrostruktury stali martenzytycznej X12CrCoWVNb12-2-2 (VM12-SHC) po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania.

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
1		zgiąd metalograficzny trawiony mikroskop świetlny	Martenzyt odpuszczony z drobnymi wydzieleniami węglików typu $M_{23}C_6$ , głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu.	<b>o; 0; 0</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>
2		zgiąd metalograficzny trawiony mikroskop świetlny	Znaczny zanik odpuszczonego martenzytu. Powstanie podziarn i wzrost wielkości wydzielań w wyniku koagulacji i koalescencji. Liczne wydzielenia głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu tworzące łańcuszki. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I/II; a/b; 0</b> <b>Klasa 2/3</b>	<b>0,3÷0,4</b>
3		zgiąd metalograficzny trawiony  skaningowy mikroskop elektronowy	Martenzyt odpuszczony z drobnymi wydzieleniami węglików typu $M_{23}C_6$ , głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu.	<b>0; o; 0</b> <b>Klasa 0</b>	<b>0</b>

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
4		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Martenzyt odpuszczony z drobnymi wydzieleniami węglików typu $M_{23}C_6$ , głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>0/I; o/a; O</b> <b>Klasa 0/1</b>	<b>0,2</b>
5		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Nieznaczny zanik listew martenzytu. Drobne wydzielenia węglików typu $M_{23}C_6$ na granicach listew. Na granicach ziarn pierwotnego austenitu wydzielenia tworzące łańcuszki. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I; a; O</b> <b>Klasa 2</b>	<b>0,3</b>
6		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Znaczny zanik odpuszczonego martenzytu. Powstanie podziarn i wzrost wielkości wydzieleni w wyniku koagulacji i koalescencji. Liczne wydzielenia głównie na granicach listew oraz na granicach ziarn pierwotnego austenitu tworzące łańcuszki. Nie zaobserwowano zapoczątkowania procesów uszkodzenia. Nie stwierdzono nieciągłości i mikropęknięć w strukturze.	<b>I/II; a; O</b> <b>Klasa 3</b>	<b>0,4</b>

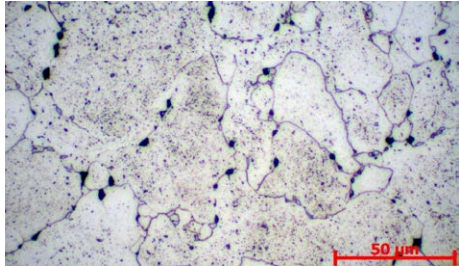
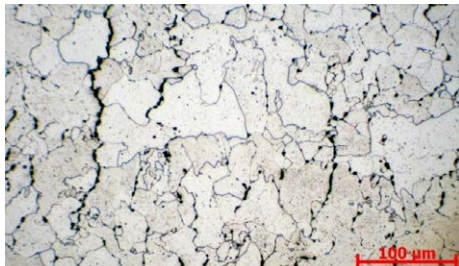
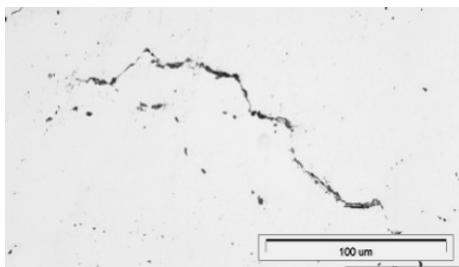
**Rys. B. 23.** Klasy struktury w wyniku rozwoju uszkodzeń wewnętrznych w zależności od stopnia wyczerpania w stalach **16Mo3, 13CrMo4-5, 10CrMo9-10, 14MoV6-3, 7CrWVMoNb9-6** oraz **7CrMoVTiB10-10** po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania.


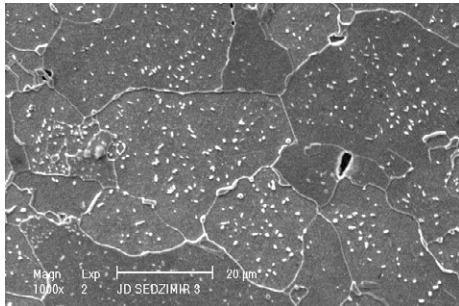
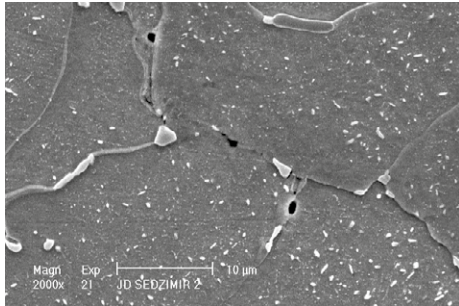


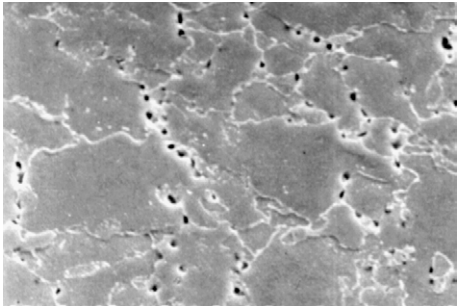
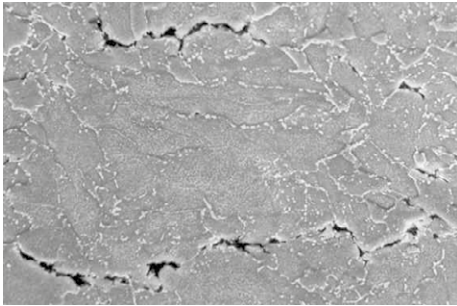
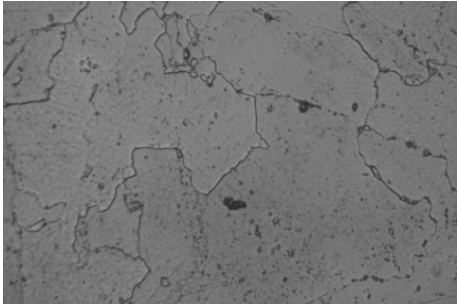
**Tablica B. 23.** Okres dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy wewnętrznych uszkodzeń w wyniku pełzania w niskostopowych stalach o strukturze ferrytyczno-perlitycznej, ferrytyczno-perlityczno-bainitycznej i ferrytyczno-bainitycznej.

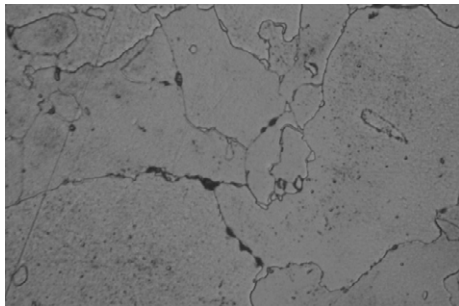
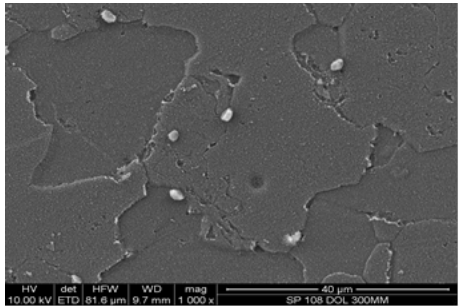
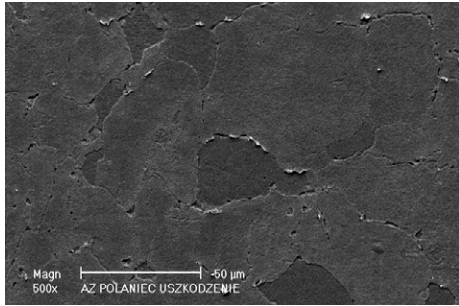
Niskostopowe stale typu Cr-Mo i Cr-Mo-V					
Stan rozwoju uszkodzeń wewnętrznych w wyniku pełzania	Klasa uszkodzenia		Klasa struktury	Stopień wyczerpania $t/t_0$	Czas dopuszczenia do dalszej eksploatacji [h]
<b>Powstawanie pustek</b>	<b>A</b>		3	0,4 ÷ 0,6	maks. 25 000
Pojedyncze pustki na granicach ziarn	A/1				
Niewiele pustek nieregularnie rozmieszczonych na granicach ziarn	A/2				
<b>Rozwój pustek</b>	<b>B</b>		4	0,6 ÷ 0,8	maks. 15 000
Pustki ukierunkowane na granicach ziarn prostopadle lub pod kątem 45° do kierunku głównego naprężenia	B/1	B1			
Łączuszki pustek na granicach ziarn	B/2		B2	5	maks. 10 000
Koalescencja występujących pustek	B/3				
Powierzchniowe szczeliny międzykrystaliczne obejmujące jedno ziarno	B/4				
<b>Powstawanie mikropęknięć</b>	<b>C</b>		6	0,8 ÷ 0,9	natychmiastowa wymiana
Powierzchniowe szczeliny międzykrystaliczne obejmujące granice kilku ziarn.	C/1				
Powierzchniowe szczeliny międzykrystaliczne obejmujące granice co najmniej kilkunastu ziarn.	C/2				
<b>Powstanie makropęknięć</b>	<b>D</b>		7	0,9 ÷ 1,0	

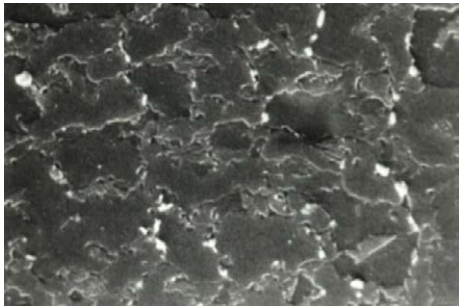
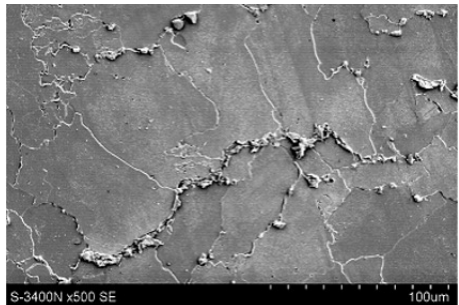
**Tablica B. 24.** Przykłady oceny stanu uszkodzeń wewnętrznych w niskostopowych stalach ferrytyczno-perlitycznych i ferrytyczno-bainitycznych (typu Cr-Mo i Cr-Mo-V) po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania.

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa uszkodzenia Klasa struktury	Stopień wyczerpania
1		zgląd metalograficzny trawiony mikroskop świetlny	Pustki ukierunkowane na granicach ziarn ferrytu miejscami tworzące łańcuszki. Stal 14MoV6-3	<b>klasa B</b> <b>klasa 4</b>	<b>0,6 ÷ 0,8</b>
2		zgląd metalograficzny trawiony mikroskop świetlny	Powierzchniowe szczeliny międzykrystaliczne obejmujące granice kilku ziarn. Stal 14MoV6-3	<b>klasa C</b> <b>klasa 6</b>	<b>0,8 ÷ 0,9</b>
3		zgląd metalograficzny nietrawiony mikroskop świetlny	Powierzchniowe szczeliny międzykrystaliczne obejmujące granice kilku ziarn. Stal 14MoV6-3	<b>klasa C</b> <b>klasa 6</b>	<b>0,8 ÷ 0,9</b>

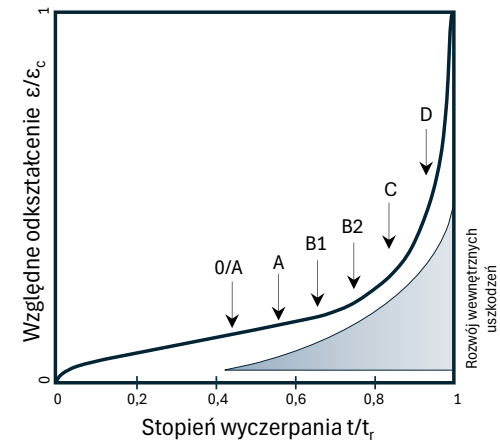
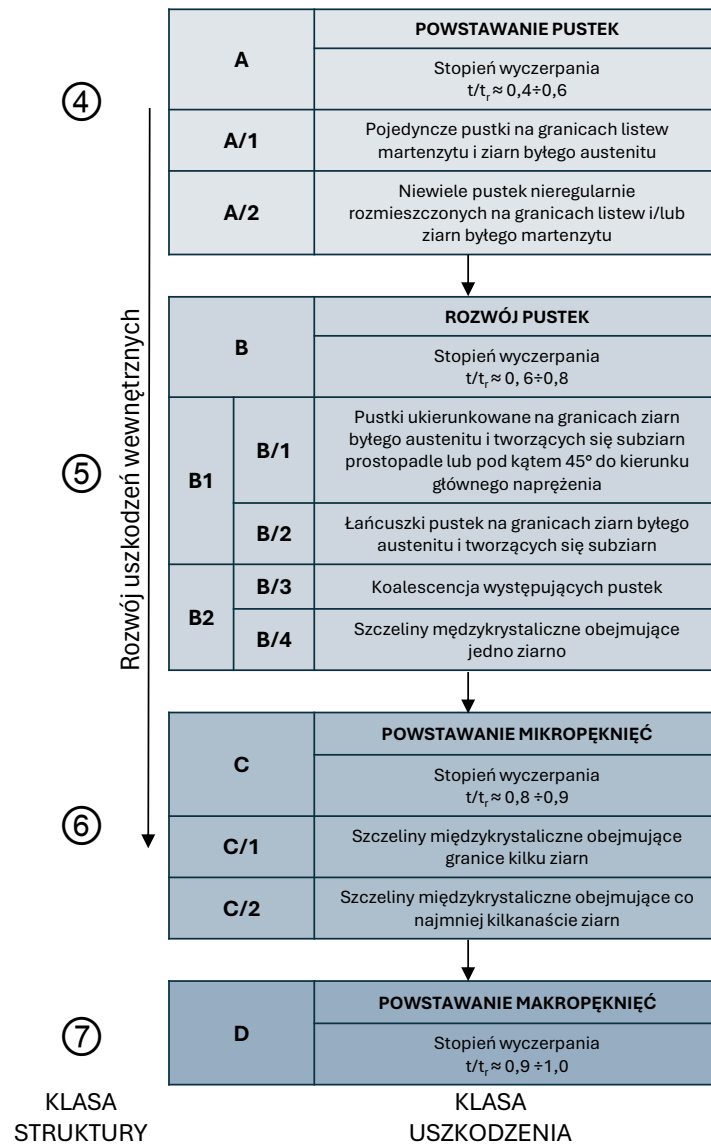
Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
4		zgląd metalograficzny trawiony mikroskop świetlny	Makropęknięcia w strukturze stali 13CrMo4-5	<b>klasa D</b> <b>klasa 7</b>	<b>0,9 ÷ 1,0</b>
5		zgląd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Pojedyncze pustki na granicach ziarn ferrytu (A/1; A). Stal 16Mo3	<b>klasa A</b> <b>klasa 3</b>	<b>ok. 0,4 ÷ 0,6</b>
6		zgląd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Na granicach ziarn ferrytu ukierunkowane pustki (A/2; A) Stal 14MoV6-3	<b>klasa A</b> <b>klasa 3</b>	<b>ok. 0,6</b>

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
7		zgląd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Łańcuszki pustek na granicach ziarn ferrytu-koalescencja pustek (B/3; B2) Stal 13CrMo4-5	<b>klasa B</b> <b>klasa 5</b>	<b>0,6÷0,8</b>
8		zgląd metalograficzny trawiony skaningowy mikroskop elektronowy	Powierzchniowe szczeliny międzykrystaliczne obejmują- ce co najmniej kilkanaście ziarn Stal 13CrMo4-5	<b>klasa C</b> <b>klasa 6</b>	<b>0,8÷0,9</b>
9		replika <u>matrycowa</u> mikroskop świetlny	Niewiele pustek nieregularnie rozmieszczonych na gra- nicach ziarn (A2) Stal 14MoV6-3	<b>klasa A</b> <b>klasa 3</b>	<b>ok. 0,4 ÷ 0,6</b>

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
10		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Pustki ukierunkowane na granicach ziarn prostopadle lub pod kątem 45° do kierunku głównego naprężenia (B/1; B1)	<b>Klasa B</b> <b>Klasa 4</b>	<b>0,6 ÷ 0,8</b>
11	 HV det HPW WD mag 40 µm 10.00 kV ETD 81.6 µm 9.7 mm 1.000 x SP 108 DOL 300MM	replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Niewiele pustek nieregularnie rozmieszczonych na granicach ziarn (A2)	<b>Klasa A</b> <b>Klasa 3</b>	<b>0,4 ÷ 0,6</b>
12	 Magn 500x 50 µm AZ POLANIEC USZKODZENIE	replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Pustki ukierunkowane na granicach ziarn prostopadle lub pod kątem 45° do kierunku głównego naprężenia (B/1; B1)	<b>Klasa B</b> <b>Klasa 4</b>	<b>0,6 ÷ 0,8</b>

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa struktury	Stopień wyczerpania
13		replika matrycowa skaningowy mikroskop elektronowy	Łańcuszki pustek na granicach ziarn, koalescencja pustek (B/3; B2)	<b>Klasa B</b> <b>Klasa5</b>	<b>0,6 ÷ 0,8</b>
14		replika matrycowa skaningowy mikroskop elektronowy	Powierzchniowe szczeliny międzykrystaliczne obejmują- ce granice kilku ziarn (C/2)	<b>Klasa C</b> <b>Klasa 6</b>	<b>0,8 ÷ 0,9</b>

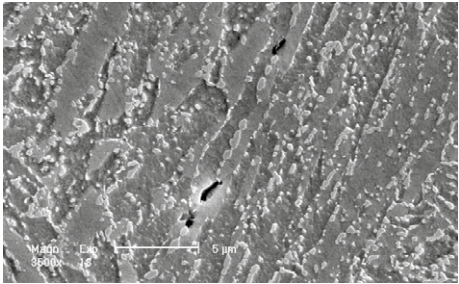
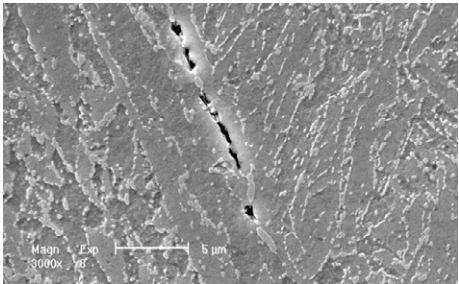
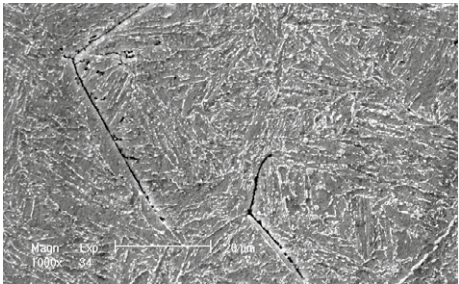
**Rys. B. 24.** Klasyfikacja struktury w wyniku rozwoju uszkodzeń wewnętrznych w zależności od stopnia wyczerpania w stali **X20CrMoV11-1, X10CrMoVNb9-1, X10CrWMoVNb9-2** oraz **X12CrCoWVNb12-2-2** pracującej w warunkach pełzania.



**Tablica B. 25.** Okres dopuszczenia do dalszej eksploatacji w zależności od klasy wewnętrznych uszkodzeń w wyniku pełzania w wysokochromowych stalach o strukturze odpuszczonego martenzytycznej pracujących w warunkach pełzania.

Wysokochromowe stale 9-12% Cr					
Stan rozwoju uszkodzeń wewnętrznych w wyniku pełzania	Klasa uszkodzenia		Klasa struktury	Stopień wyczerpania t/t <sub>r</sub>	Czas dopuszczenia do dalszej eksploatacji [h]
<b>Powstawanie pustek</b>	<b>A</b>		3	0,4 ÷ 0,6	maks. 20 000
Pojedyncze pustki na granicach listew martenzytu i ziarn byłego austenitu	A/1				
Niewiele pustek nieregularnie rozmieszczonych na granicach listew i/lub ziarn byłego austenitu	A/2				
<b>Rozwój pustek</b>	<b>B</b>		4	0,6 ÷ 0,8	maks. 10 000
Pustki ukierunkowane na granicach ziarn byłego austenitu i tworzących się subziarn prostopadłe lub pod kątem 45° do kierunku głównego naprężenia	B/1	B1			
Łańcuszki pustek na granicach ziarn byłego austenitu i tworzących się subziarn	B/2		5		maks. 6 000
Koalescencja występujących pustek	B/3	B2			
Szczeliny międzykrystaliczne obejmujące jedno ziarno	B/4				
<b>Powstawanie mikropęknięć</b>	<b>C</b>		6	0,8 ÷ 0,9	natychmiastowa wymiana
Szczeliny międzykrystaliczne obejmujące granice kilku ziarn	C/1				
Szczeliny międzykrystaliczne obejmujące granice co najmniej kilkunastu ziarn	C/2				
<b>Powstanie makropęknięć</b>	<b>D</b>		7	0,9 ÷ 1,0	

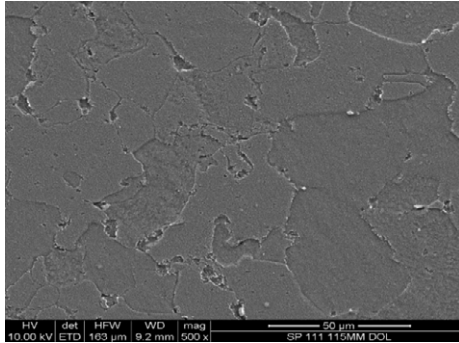
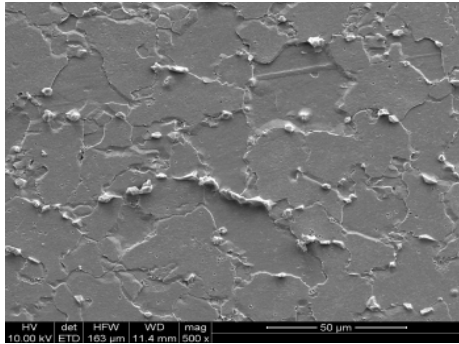
**Tablica B. 26.** Przykłady oceny stanu uszkodzeń wewnętrznych w wysokochromowych stalach martenzytycznych po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania.

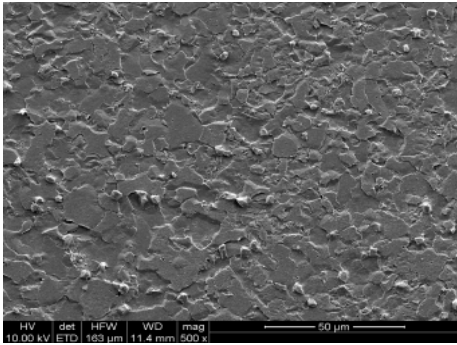
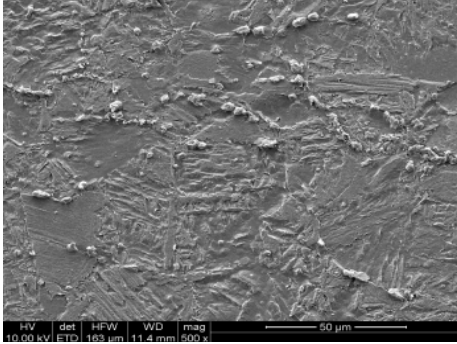
Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Opis mikrostruktury	Klasa uszkodzenia Klasa struktury	Stopień wyczerpania
1		zgiąd metalograficzny <u>trawiony</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura odpuszczonego martenzytu. Pojedyncze pustki nierównomiernie rozmieszczone na granicach listew martenzytu (A/1; A)	<b>Klasa A</b> <b>Klasa 3</b>	0,4 ÷ 0,6
2		zgiąd metalograficzny <u>trawiony</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura odpuszczonego martenzytu. Łańcuszki pustek na granicach ziarn byłego austenitu i tworzących się subziarn. Koalescencja pustek na grani- cach listew martenzytu (B/3; B2)	<b>Klasa B</b> <b>Klasa 5</b>	0,6 ÷ 0,8
3		zgiąd metalograficzny <u>trawiony</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Struktura odpuszczonego martenzytu. Szczeliny międzykrystaliczne obejmujące granice co najmniej kilkunastu ziarn pierwot- nego austenitu	<b>Klasa C</b> <b>Klasa 6</b>	0,8 ÷ 0,9

**Tablica B. 27.** Okres dopuszczenia do dalszej eksploatacji materiału strefy wpływu ciepła i spoiny w zależności od klasy struktury i klasy uszkodzeń wewnętrznych w wyniku pełzania.

Strefa wpływu ciepła i spoina						
Stan rozwoju uszkodzeń wewnętrznych w wyniku pełzania	Klasa uszkodzenia		Klasa struktury	Stopień wyczerpania $t/t_r$	Czas dopuszczenia do dalszej eksploatacji [h]	Uwagi
<b>Nie stwierdzono zapoczątkowania uszkodzeń wewnętrznych w wyniku pełzania</b>	<b>0</b>		<b>0÷2</b>	<b>do 0,4</b>	maks. 40 000 (czas eksploatacji do 150 000 h)	możliwość wykonania naprawy przez spawanie po ocenie klasy struktury
					maks. 30 000 (czas eksploatacji powyżej 150 000 h)	
<b>Powstawanie pustek</b>	<b>A</b>		<b>3</b>	<b>0,4 ÷ 0,6</b>	maks. 25 000 (czas eksploatacji do 150 000 h)	nie nadaje się do naprawy przez spawanie
Pojedyncze pustki na granicach ziarn	A/1					
Niewiele pustek nieregularnie rozmieszczonych na granicach ziarn	A/2					
<b>Rozwój pustek</b>	<b>B</b>		<b>4</b>	<b>0,6 ÷ 0,8</b>	maks.15 000 (czas eksploatacji do 150 000 h)	nie nadaje się do naprawy przez spawanie
Pustki ukierunkowane na granicach ziarn prostopadle lub pod kątem 45° do kierunku głównego naprężenia	B/1	B1				
Łańcuszki pustek na granicach ziarn	B/2					
Koalescencja występujących pustek	B/3	B2				
Powierzchniowe szczeliny międzykrystaliczne obejmujące jedno ziarno	B/4					
<b>Powstawanie mikropęknięć</b>	<b>C</b>		<b>5</b>		maks. 6 000	
Powierzchniowe szczeliny międzykrystaliczne obejmujące granice kilku ziarn.	C/1					
Powierzchniowe szczeliny międzykrystaliczne obejmujące granice co najmniej kilkunastu ziarn	C/2					
<b>Powstanie makropęknięć</b>	<b>D</b>		<b>6</b>	<b>0,8 ÷ 0,9</b>	natychmiastowa wymiana	nie nadaje się do naprawy przez spawanie
			<b>7</b>	<b>0,9 ÷ 1,0</b>		

**Tablica B. 28.** Przykłady oceny stanu uszkodzeń wewnętrznych w elementach złączy spawanych po długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania.

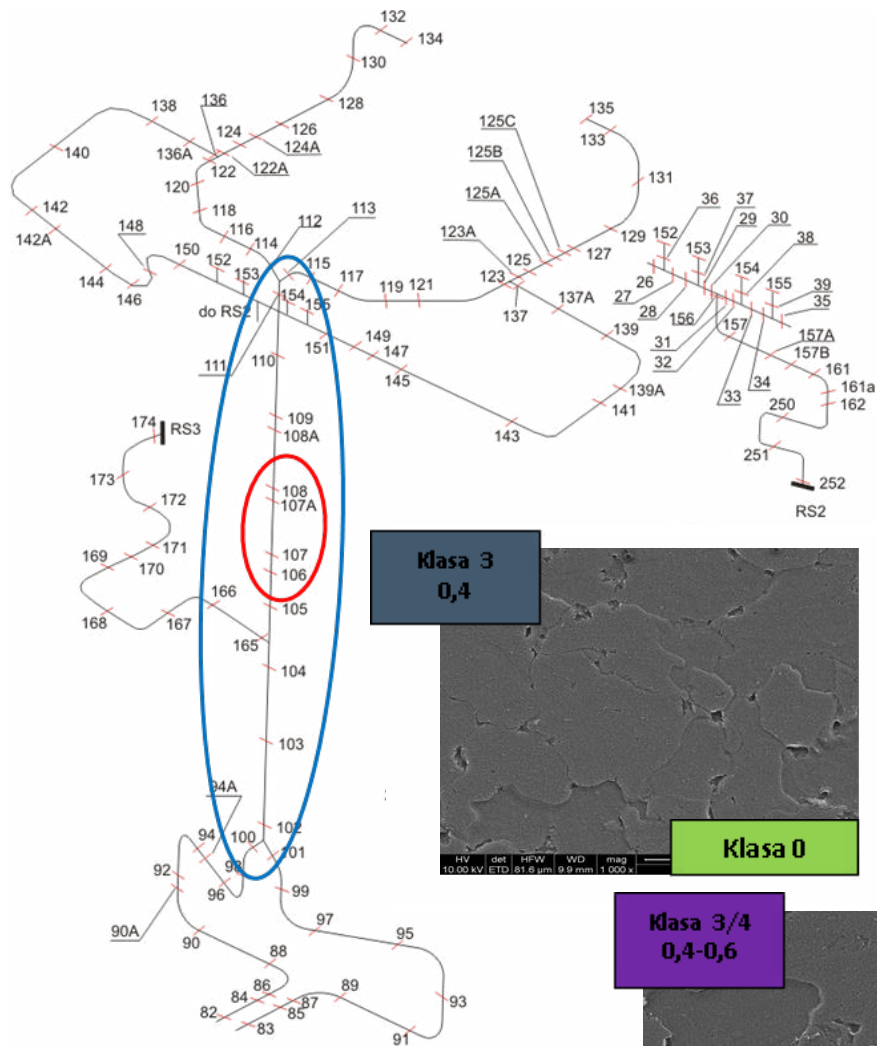
Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Miejsce badania Opis mikrostruktury	Klasa uszkodzenia	Stopień wyczerpania
1		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Stal 14MoV6-3 - materiał rodzimy złącza spawanego	<b>Klasa A</b>	<b>ok. 0,6</b>
			Struktura ferrytu z węglkami. Na granicach ziarn ferrytu zorientowane pustki		
2		replika <u>matrycowa</u> skaningowy mikroskop elektronowy	Stal 14MoV6-3 - materiał rodzimy złącza spawanego	<b>Klasa B</b>	<b>0,6÷0,8</b>
			Struktura ferrytu z węglkami. Na granicach ziarn ferrytu łańcuszki pustek. Koalescencja pustek		

Lp.	Obraz mikrostruktury	preparat urządzenie	Miejsce badania Opis mikrostruktury	Klasa uszkodzenia	Stopień wyczerpania
3		replika matrycowa skaningowy mikroskop elektronowy	Strefa wpływu ciepła jednorodnego złącza spawanego stali 14MoV6-3	<b>Klasa B</b>	<b>0,6÷0,8</b>
			Struktura ferrytu z obszarami bainitu. Na granicach ziarn ferrytu pustki miejscami tworzące łańcuszki		
4		replika matrycowa skaningowy mikroskop elektronowy	Spoina jednorodnego złącza spawanego stali 14MoV6-3	<b>Klasa B</b>	<b>0,6÷0,8</b>
			Struktura martenzytu z obszarami ferrytu. Na granicach ziarn pustki tworzące łańcuszki		

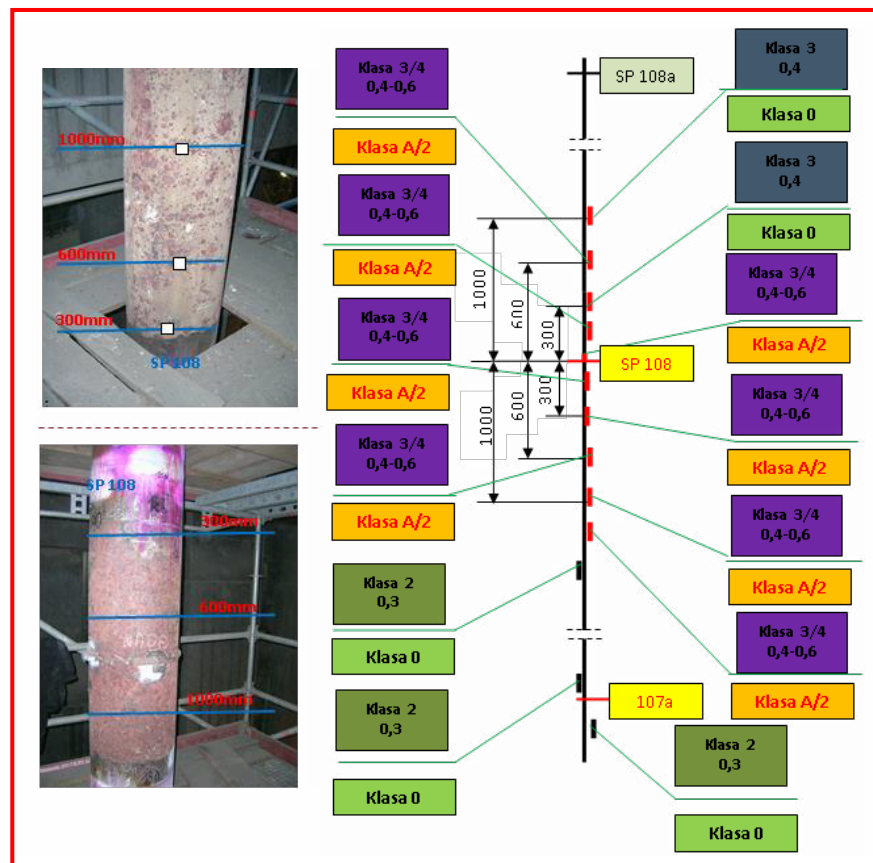
**Tablica B.29.** Trafność oceny oraz prognoza dalszej bezpiecznej eksploatacji materiału elementu w zależności od klasy struktury, klasy wewnętrznych uszkodzeń oraz zastosowanych metod badawczych wg [1]

Zakres badań diagnostycznych	Przybliżona trafność oceny, %	Prognoza dotycząca dalszej pracy, godziny (lata)	Orientacyjny stopień wyczerpania	Klasa uszkodzenia
Szlif na elemencie, badania makroskopowe, badania defektoskopowe, endoskopowe	95	natychmiastowa wymiana	<b>powyżej 0,85</b>	<b>D</b>
Szlif na elemencie, przenośny mikroskop świetlny – pow. do 400x	95	maks. 3500 h (0,5 roku) i wymiana	<b>od 0,70 do 0,80</b>	<b>C</b>
<b>Szlif na elemencie, przenośny mikroskop świetlny – pow. do 400 x</b>	<b>~55</b>	ocena wstępna	<b>od 0,60 do 0,80</b>	<b>B</b>
Szlif na elemencie + replika, mikroskop świetlny stacjonarny pow. do 1000x	powyżej 60	maks. 10 000 h (1,5 roku)		
Szlif na elemencie + replika cieniowana, skaningowy mikroskop elektronowy – pow. do 5000x, bank danych	powyżej 80	do maks. 20 000 h (3 lata)		
Jak wyżej + badania niszczące, bank danych, skaningowy mikroskop elektronowy – pow. do 5000x	powyżej 90	powyżej 25 000 h (4 lata)		
<b>Szlif na elemencie, przenośny mikroskop świetlny – pow. do 400x</b>	<b>~55</b>	ocena wstępna maks. 6 000 h (do 1 roku)	<b>od 0,40 do 0,60</b>	<b>A</b>
Szlif na elemencie + replika cieniowania, przenośny mikroskop świetlny + stacjonarny mikroskop świetlny – pow. do 1000x	powyżej 60	maks. 10 000 h (1,5 roku)		
Jak wyżej + bank danych, skaningowy mikroskop elektronowy – pow. do 5000x	powyżej 75	do maks. 20 000 h (3 lata)		
Jak wyżej + analiza RTG izolatu, bank danych, skaningowy mikroskop elektronowy – pow. do 5000x mikroanalizator RTG	powyżej 80	powyżej 20 000 h (3 lata)		
Jak wyżej + badania niszczące (głównie pełzanie) bank danych, skaningowy mikroskop elektronowy – pow. do 5000x, mikroanalizator RTG	powyżej 95	powyżej 25 000 h (4 lata)		
<b>Szlif na elemencie + replika, przenośny mikroskop świetlny + stacjonarny mikroskop świetlny – pow. do 1000x</b>	<b>~55</b>	ocena wstępna do maks. 8 000h(1 rok)	<b>poniżej 0,40</b>	<b>O/A lub O</b>
Jak wyżej + replika cieniowana, skaningowy mikroskop elektronowy –pow. do 5000x, bank danych	powyżej 75	powyżej 25 000 h (4 lata)		
Jak wyżej + analiza RTG izolatu, bank danych, skaningowy mikroskop elektronowy – pow. do 5000x mikroanalizator RTG	powyżej 80	powyżej 40 000 h (6 lat)		
Jak wyżej + badania niszczące (głównie pełzanie), skaningowy mikroskop elektronowy – pow. do 5000x, bank danych, mikroanalizator RTG	95	powyżej 40 000 h (6 lat)		

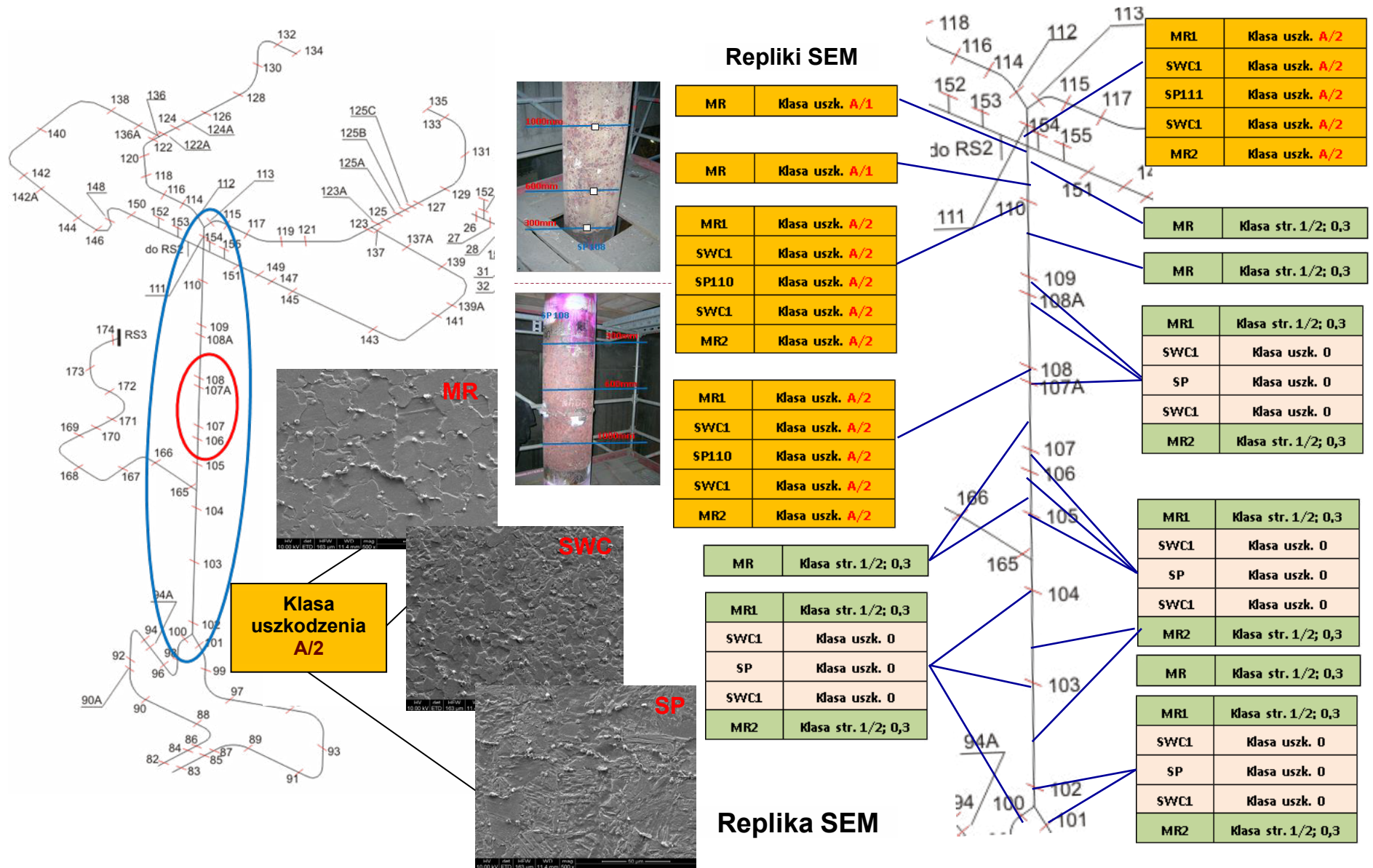
Rys. B. 25. Przykład zbiorczej oceny stanu materiału głównego rurociągu parowego. Stal 14MoV6-3 (13HMF), para świeża, czas pracy w warunkach pełzania znacznie powyżej obliczeniowego.



Replika SEM



**Rys. B 26.** Przykład zbiorczej oceny stanu materiału złączy spawanych głównego rurociągu parowego. Stal 14MoV6-3 (13HMF), para świeża, czas pracy w warunkach pełzania znacznie powyżej obliczeniowego.





## ZAŁĄCZNIK C:

- Karty zakresu badań diagnostycznych

EKSPLOATUJĄCY / NR UDT EKSPLOATUJĄCEGO											DATA:				
OSOBA DO KONTAKTU (nr tel., e-mail):															
NUMER EWIDENCYJNY UDT:				NUMER FABRYCZNY:			DATA BUDOWY:			DATA URUCHOMIENIA:					
RODZAJ URZĄDZENIA:				TYP URZĄDZENIA / TYP KONSTRUKCJI:				Załącznik A – Wężownice przegrzewacza pary – Tablica A.1.							
Elementy o temperaturze eksploatacji większej od temperatury granicznej															
ELEMENT:				Ogledziny VT	Endoskopia	Pomiary odkształceń	Pomiary grubości	Badania twardości	Badania RT	Badania UT	Badania MT/PT	Badanie mikrostruktury (Tabela 7) + badania twardości	Badania osadów	Badania własności mechanicznych (niszczące/mikropróbki)	Skrócone próby pełzania
Wężownice przegrzewacza pary stopnia: .....				Odcinki proste i kolana											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>o</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....		Króćce											
Temperatura eksploatacji Te [°C]=.....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....		Złącza spawane											
Wężownice przegrzewacza pary stopnia: .....				Odcinki proste i kolana											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>o</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....		Króćce											
Temperatura eksploatacji Te [°C]=.....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....		Złącza spawane											
Wężownice przegrzewacza pary stopnia: .....				Odcinki proste i kolana											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>o</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....		Króćce											
Temperatura eksploatacji Te [°C]=.....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....		Złącza spawane											
Wężownice przegrzewacza pary stopnia: .....				Odcinki proste i kolana											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>o</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....		Króćce											
Temperatura eksploatacji Te [°C]= .....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....		Złącza spawane											

EKSPLOATUJĄCY / NR UDT EKSPLOATUJĄCEGO										DATA:					
OSOBA DO KONTAKTU (nr tel., e-mail):															
NUMER EWIDENCYJNY UDT:				NUMER FABRYCZNY:				DATA BUDOWY:				DATA URUCHOMIENIA:			
RODZAJ URZĄDZENIA:				TYP URZĄDZENIA / TYP KONSTRUKCJI:				Załącznik A – Rurociągi komunikacyjne – Tablica A.2.							
Elementy o temperaturze eksploatacji większej od temperatury granicznej															
ELEMENT:				Ogledziny VT	Endoskopia	Pomiary odkształceń	Pomiary grubości	Badania twardości	Badania RT	Badania UT	Badania MT/PT	Badanie mikrostruktury (Tabela 7) + badania twardości	Badania osadów	Badania własności mechanicznych (niszczące/mikropróbki)	Skrócone próby pełzania
Rurociągi komunikacyjne: .....				Odcinki proste i kolana											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>o</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....		Króćce											
Temperatura eksploatacji Te [°C]=.....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....		Złącza spawane											
Rurociągi komunikacyjne: .....				Odcinki proste i kolana											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>o</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....		Króćce											
Temperatura eksploatacji Te [°C]=.....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....		Złącza spawane											
Rurociągi komunikacyjne: .....				Odcinki proste i kolana											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>o</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....		Króćce											
Temperatura eksploatacji Te [°C]=.....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....		Złącza spawane											
Rurociągi komunikacyjne: .....				Odcinki proste i kolana											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>o</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....		Króćce											
Temperatura eksploatacji Te [°C]=.....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....		Złącza spawane											

EKSPLOATUJĄCY / NR UDT EKSPLOATUJĄCEGO										DATA:					
OSOBA DO KONTAKTU (nr tel., e-mail):															
NUMER EWIDENCYJNY UDT:				NUMER FABRYCZNY:				DATA BUDOWY:				DATA URUCHOMIENIA:			
RODZAJ URZĄDZENIA:				TYP URZĄDZENIA / TYP KONSTRUKCJI:				Załącznik A – Komory przegrzewaczy pary – Tablica A.3.							
Elementy o temperaturze eksploatacji większej od temperatury granicznej															
ELEMENT:				Oględziny VT	Endoskopia	Pomiary odkształceń	Pomiary grubości	Badania twardości	Badania RT	Badania UT	Badania MT/PT	Badanie mikrostruktury (Tabela 7) + badania twardości	Badania osadów	Badania własności mechanicznych (niszczące/mikropróbkę)	Skrócone próby pełzania
Komory przegrzewaczy pary stopnia: .....				Płaszcz											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>0</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....	Złącza spawane												
			Króćce												
Temperatura eksploatacji Te [°C]=.....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....	Mostki												
			Otwory												
Komory przegrzewaczy pary stopnia: .....				Płaszcz											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>0</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....	Złącza spawane												
			Króćce												
Temperatura eksploatacji Te [°C]=.....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....	Mostki												
			Otwory												
Komory przegrzewaczy pary stopnia: .....				Płaszcz											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>0</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....	Złącza spawane												
			Króćce												
Temperatura eksploatacji Te [°C]=.....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....	Mostki												
			Otwory												
Komory przegrzewaczy pary stopnia: .....				Płaszcz											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>0</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....	Złącza spawane												
			Króćce												
Temperatura eksploatacji Te [°C]=.....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....	Mostki												
			Otwory												

EKSPLOATUJĄCY / NR UDT EKSPLOATUJĄCEGO										DATA:					
OSOBA DO KONTAKTU (nr tel., e-mail):															
NUMER EWIDENCYJNY UDT:				NUMER FABRYCZNY:				DATA BUDOWY:				DATA URUCHOMIENIA:			
RODZAJ URZĄDZENIA:				TYP URZĄDZENIA / TYP KONSTRUKCJI:				Załącznik A – Komory schładzaczy pary – Tablica A.4.							
Elementy o temperaturze eksploatacji większej od temperatury granicznej															
ELEMENT:				Oględziny VT	Endoskopia	Pomiary odkształceń	Pomiary grubości	Badania twardości	Badania RT	Badania UT	Badania MT/PT	Badanie mikrostruktury (Tabela 7) + badania twardości	Badania osadów	Badania własności mechanicznych (niszczące/mikropróbkę)	Skrócone próby pełzania
Komory schładzaczy pary: .....				Płaszcz											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>o</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....	Złącza spawane												
			Króćce												
Temperatura eksploatacji Te [°C]=.....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....	Otworki												
Komory schładzaczy pary: .....															
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)				Płaszcz											
D[mm]= .....	g <sub>o</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....	Złącza spawane												
			Króćce												
Temperatura eksploatacji Te [°C]=.....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....	Otworki												
Komory schładzaczy pary: .....				Płaszcz											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>o</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....	Złącza spawane												
			Króćce												
Temperatura eksploatacji Te [°C]=.....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....	Otworki												
Komory schładzaczy pary: .....															
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)				Płaszcz											
D[mm]= .....	g <sub>o</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....	Złącza spawane												
			Króćce												
Temperatura eksploatacji Te [°C]= .....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....	Otworki												

EKSPLOATUJĄCY / NR UDT EKSPLOATUJĄCEGO											DATA:				
OSOBA DO KONTAKTU (nr tel., e-mail):															
NUMER EWIDENCYJNY UDT:					NUMER FABRYCZNY:				DATA BUDOWY:			DATA URUCHOMIENIA:			
RODZAJ URZĄDZENIA:					TYP URZĄDZENIA / TYP KONSTRUKCJI:				Załącznik A – Główne rurociągi parowe – Tablica A.5.						
Elementy o temperaturze eksploatacji większej od temperatury granicznej															
ELEMENT:				Ogledziny VT	Endoskopia	Pomiary odkształceń	Pomiary grubości	Badania twardości	Badania RT	Badania UT	Badania MT/PT	Badanie mikrostruktury (Tabela 7) + badania twardości	Badania osadów	Badania własności mechanicznych (niszczące/mikropróbkki)	Skrócone próby petzania
Główne rurociągi parowe: .....				Odcinki proste											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>o</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....		Kolana											
Temperatura eksploatacji Te [°C]=.....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....		Złącza spawane											
Główne rurociągi parowe: .....				Odcinki proste											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>o</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....		Kolana											
Temperatura eksploatacji Te [°C]=.....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....		Złącza spawane											
Główne rurociągi parowe: .....				Odcinki proste											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>o</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....		Kolana											
Temperatura eksploatacji Te [°C]=.....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....		Złącza spawane											
Główne rurociągi parowe: .....				Odcinki proste											
Materiał: ..... (Czy element jest monitorowany online przez UDT ? Tak / Nie)															
D[mm]= .....	g <sub>o</sub> [mm]= .....	Projektowany czas eksploatacji: .....		Kolana											
Temperatura eksploatacji Te [°C]= .....	Temperatura graniczna Tg [°C]= .....	Czas eksploatacji: .....		Złącza spawane											