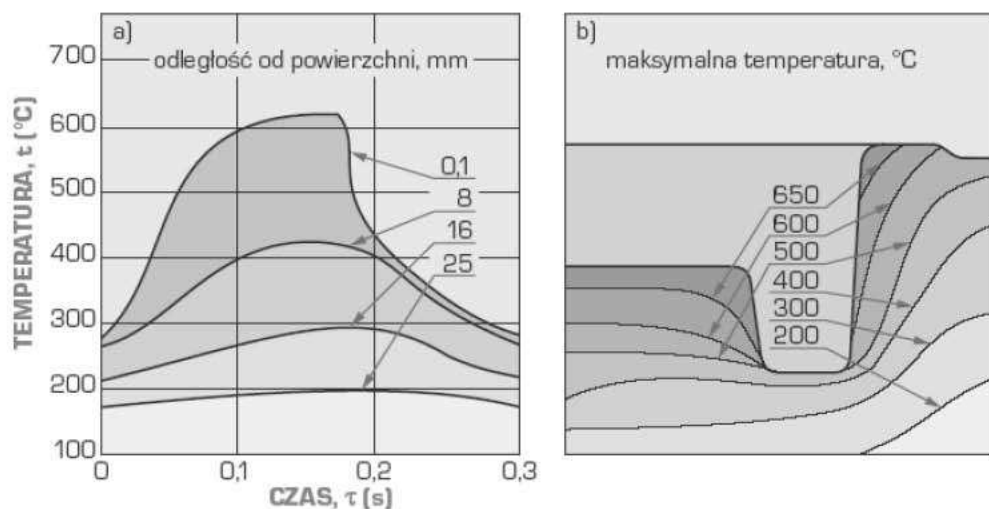


23. Zużycie narzędzi do pracy na gorąco

Robocze powierzchnie narzędzi do obróbki plastycznej na gorąco oraz do odlewania w formach metalowych są narażone podczas pracy na:

- nagrzanie do wysokiej temperatury oraz cykliczne zmiany tej temperatury,
- cykliczne, duże obciążenia mechaniczne, często dynamiczne,
- intensywne ścieranie w podwyższonej temperaturze,
- korozyjne oddziaływanie obrabianego materiału i środków chłodząco-smarujących.

Narzędzia do pracy na gorąco narażone są na zmiany temperatury powierzchni roboczej, związane z kontaktem z gorącym obrabianym materiałem i następnym chłodzeniem podczas każdego cyklu pracy (rys. 63). Kształtowany materiał przekazuje ciepło, które nie jest odprowadzane całkowicie przez ośrodek chłodzący, w wyniku czego cała masa narzędzia nagrzewa się podczas pracy do temperatury powyżej 200°C. Maksymalna temperatura powierzchni matryc, stempli, wykrojników i innych narzędzi stykających się przez krótki czas z nagrzanym materiałem oraz intensywnie chłodzonych wynosi 500÷600°C, a rdzenia 300÷400°C.



Rysunek 63. Schemat a) zmian temperatury w różnych odległościach od powierzchni roboczej matrycy podczas jednego cyklu pracy przy kuciu na prasie, b) rozkładu temperatury maksymalnej na przekroju części matrycy kuźniczej podczas pracy (według A. Werońskiego)

Powierzchnia robocza form do odlewania pod ciśnieniem, części pras do wyciskania, matryc do prasowania metali na gorąco i innych narzędzi stykających się z nagrzanym metalem przez dłuższą część cyklu pracy i przejmujących więcej ciepła nagrzewa się do temperatury $700\div 800^{\circ}\text{C}$, a rdzeń – do ok. 600°C (rys. 63).

Cykliczne zmiany temperatury powodują powstawanie zmiennych naprężeń cieplnych związanych z gradientem temperatury oraz niejednorodnością własności fizykomechanicznych faz w stali. Ze zwiększeniem liczby cykli cieplnych następują zmiany strukturalne i zmniejszenie własności wytrzymałościowych w warstwie wierzchniej, tak że naprężenia cieplne często przekraczają temperaturową wytrzymałość zmęczeniową, a niekiedy granicę plastyczności. Niszczenie powierzchni roboczych narzędzi pod wpływem cyklicznych zmian temperatury jest nazywane **zmęczeniem cieplnym**. W wyniku zmęczenia cieplnego po pewnym czasie na powierzchni roboczej narzędzi powstaje charakterystyczna siatka pęknięć pogłębiających się podczas dalszych cykli pracy (plansza 8), a w efekcie tego następuje wykruszanie się cząstek materiału z powierzchni i przyspieszone zużycie narzędzi.

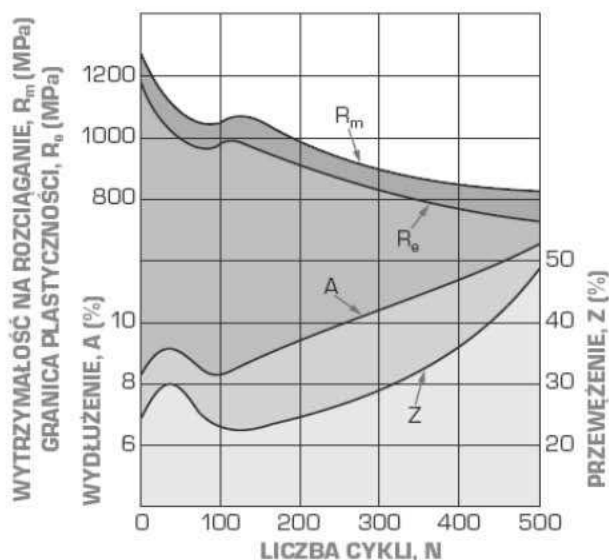
Zarodkowanie pęknięć zmęczeniowych zachodzi wewnątrz ziarn lub na granicach międzyfazowych, wydzielen i wtrąceń niemetalicznych utrudniających ruch dyslokacji spiętrzaających się przed tymi przeszkodami pod wpływem naprężeń cieplnych. W tworzących się spiętrzeniach dyslokacji koncentracja naprężeń przyspiesza wzrost mikropęknięć, które po osiągnięciu wielkości krytycznej mogą się rozprzestrzeniać przy kolejnych cyklach naprężeń. Wraz z podwyższeniem temperatury zwiększa się udział pęknięć zarodkujących na granicach ziarn wskutek zmniejszenia sił wiązań międzyatomowych w tych obszarach.

Podczas zmęczenia cieplnego zachodzą zmiany strukturalne. W stalach poddanych działaniu dużej liczby cykli cieplnych o temperaturze maksymalnej wyższej od temperatury odpuszczania następują znaczne zmiany struktury, związane z przemianami i koagulacją węglików oraz zdrowieniem, poligonizacją i rekryształizacją osnowy. Zmiany nie są zbyt duże, jeśli maksymalna temperatura cyklu cieplnego jest zbliżona do temperatury odpuszczania.

W praktyce zmęczenie cieplne nigdy nie zachodzi w czystej postaci, lecz sumują się z nim:

- cykliczne naprężenia mechaniczne (**zmęczenie cieplno-mechaniczne**),
- procesy korozyjne (**zmęczenie cieplno-korozyjne**),
- **ścieranie**.

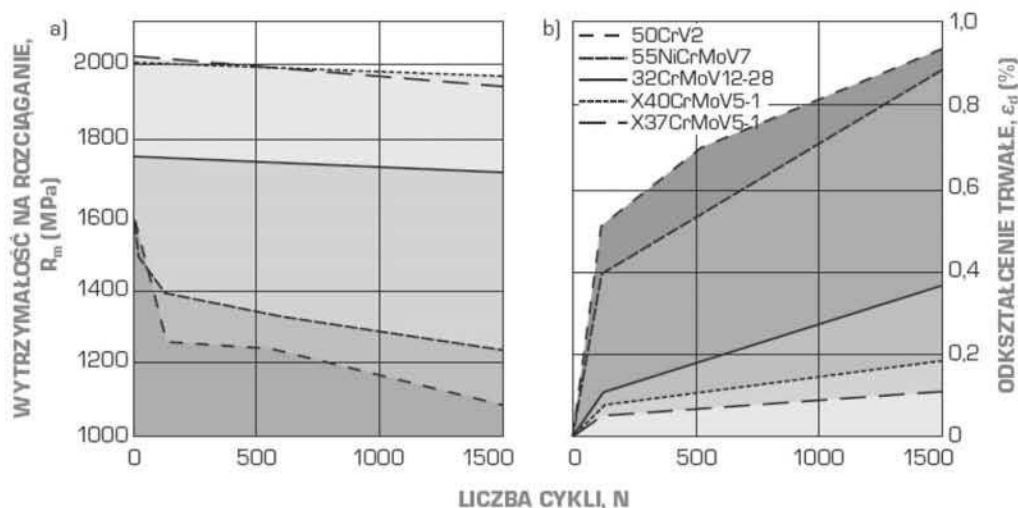
Zmiany strukturalne zachodzące w stali podczas **zmęczenia cieplno-mechanicznego** są przyspieszane przez wprowadzenie dużej liczby wad sieciowych, powstających w wyniku współdziałania naprężeń cieplnych i mechanicznych. Przejściowe umocnienie stali związane ze zwiększeniem gęstości dyslokacji podczas odkształcenia plastycznego osnowy w początkowych cyklach jest usuwane następnie przez procesy aktywowane cieplnie. W wyniku tego następuje zmniejszenie własności wytrzymałościowych związane z postępującą koagulacją węglików, rekrytalizacją osnowy i obecnością mikropęknięć w stali (rys. 64 i 65).



Rysunek 64. Wpływ liczby cykli podczas zmęczenia cieplno-mechanicznego w zakresie temperatury $730\div 300^\circ\text{C}$ oraz przy naprężeniach mechanicznych $\pm 130\text{ MPa}$, na własności wytrzymałościowe i plastyczne stali typu X30WCrV9-3 zahartowanej z 1120°C i odpuszczanej w 590°C (według A.I. Iwanowa i B.F. Trachtenberga)

Obciążenia mechaniczne działające na narzędzia do pracy na gorąco związane z pokonywaniem oporu odkształcenia plastycznego kształtowanego materiału osiągają znaczne wartości i mają najczęściej charakter dynamiczny, jak np. podczas kucia matrycowego. Naprężenia mechaniczne powodują niekiedy trwałe odkształcenie plastyczne najbardziej obciążonych części narzędzia, np. krawędzi stempli do wyciskania stali na gorąco, czemu sprzyja zmniejszenie własności wytrzymałościowych w warstwie wierzchniej podgrzanej do wysokiej temperatury. Cykliczność naprężeń mechanicznych i ich dynamiczny charakter sprzyjają

rozwojowi pęknięć zmęczeniowych, co może powodować pęknięcia całego narzędzia, np. matrycy kuźniczej.



Rysunek 65. Wpływ liczby cykli podczas zmęczenia cieplno-mechanicznego na a) wytrzymałość na rozciąganie, b) odkształcenie trwałe próbek z niektórych stali narzędziowych do pracy na gorąco obrobionych cieplnie w warunkach zapewniających uzyskanie twardości 40 HRC; warunki próby – zmiany temperatury w zakresie $550 \pm 10^\circ\text{C}$, energia uderzenia 1,3 J (według M. Gierzyńskiej-Dolnej i T. Wrony)

Struktura i własności warstwy wierzchniej wywierają decydujący wpływ na początkowy etap zmęczenia cieplnego, ponieważ zarodkowanie mikropęknięć w większości przypadków następuje na powierzchni narzędzia. Karby, wady powierzchniowe, a także powierzchniowe warstwy tlenków lub innych faz o odmiennych niż podłoże własnościach fizykochemicznych przyspieszają zarodkowanie pęknięć. Kinetyka utleniania metalu kontroluje szybkość powstawania pęknięć i wpływa na ich morfologię. Intensyfikacja propagacji pęknięć następuje także w innych ośrodkach oddziałujących korozyjnie na badany metal, np. w wodzie, olejach, ciełych stopach metali itp.

Korozyjne oddziaływanie kształtowanego metalu na materiał narzędzia zachodzi przede wszystkim podczas eksploatacji form do odlewania pod ciśnieniem. Wysoka temperatura oraz ciśnienie intensyfikują procesy dyfuzyjne, przez co w warstwie wierzchniej narzędzi zwiększa się stężenie pierwiastków wchodzących w skład kształtowanego stopu. Na powierzchni stali, stykającej się w czasie prasowania na gorąco lub odlewania ze stopami miedzi, tworzy się

warstwa roztworu miedzi w żelazie, która w czasie dalszych cykli pracy ulega pękaniu i wykuszaniu z powierzchni narzędzia. Natomiast na powierzchni stali poddanej działaniu ciekłych stopów aluminium tworzy się warstwa faz międzymetalicznych Al_3Fe , Al_5Fe_2 , Al_3Fe_2 , cząstki której po osiągnięciu grubości powyżej 20 μm odrywają się od stali w kolejnych cyklach pracy. Ubytki w strefie faz międzymetalicznych tworzące nierówności powierzchni oraz wykruszone twarde cząstki tych faz działające jako materiał ścierny na inne miejsca powierzchni roboczej znacznie przyspieszają proces zużycia narzędzi.

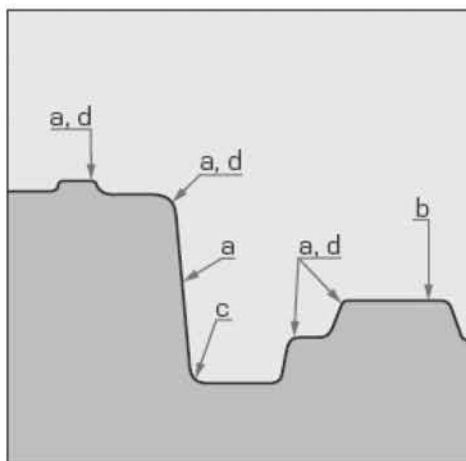
Zużycie ciepłno-korozyjne może być także spowodowane zastosowaniem środków smarująco-chłodzących powierzchnie robocze. Wodny roztwór chlorku sodowego może ułatwić korozję narzędzi, a zbyt duże ilości oleju z koloidalnym grafitem mogą powodować lokalne nawęglenie powierzchni roboczej i przyspieszenie rozwoju pęknięć utworzonych w wyniku zmęczenia cieplnego. W wyniku reakcji chemicznych środków smarujących zawierających MoS_2 podczas obróbki plastycznej stopów w wysokiej temperaturze powstaje twardy MoO_3 intensyfikujący zużycie ściernie.

Zużycie ściernie, jak i adhezyjne, zachodzące w podwyższonej temperaturze przy dużych naciskach powierzchniowych, niekorzystnych warunkach smarowania oraz przy jednoczesnym oddziaływaniu cyklicznych obciążeń cieplnych i mechanicznych są głównymi procesami przyczyniającymi się do zmniejszenia trwałości eksploatacyjnej narzędzi do pracy na gorąco.

W procesie zużycia ściernego w podwyższonej temperaturze wyróżnia się następujące etapy:

- zetknięcie i współdziałanie mechaniczne obszarów powierzchni trących pokrytych początkowo warstwą tlenków; dominujące jest odkształcenie plastyczne nierówności na powierzchni oraz znacznej objętości obrabianego plastycznie metalu, w wyniku czego następuje kilkakrotny wzrost powierzchni styku, a następnie pęknięcie, częściowe rozsuniecie warstwy tlenków i odsłonięcie nieutlenionego metalu, którego powierzchnia styka się bezpośrednio z narzędziem;
- bezpośredni styk czystego metalu z powierzchnią narzędzia; charakterystyczne jest oddziaływanie międzyatomowe i tworzenie się połączeń adhezyjnych, zależnych od postaci geometrycznej powierzchni styku, wartości nacisku, własności fizykochemicznych i mechanicznych metali pary trącej, w tym głównie reaktywności chemicznej i warunków tarcia;

- niszczenie powstałych połączeń adhezyjnych w czasie wzajemnego ruchu elementów metalowych stanowiących parę tarcą; narosty materiału odkształcanego ulegają odkształceniu plastycznemu, co powoduje powstanie mikropęknięć powierzchni roboczej narzędzi, przy dużych wartościach sił stycznych – ścinanie, a w najbardziej niekorzystnym przypadku także wykruszanie lub wyrywanie wraz z częścią materiału warstwy wierzchniej narzędzia. Wykruszone produkty zużycia wraz z cząstkami tlenków, które gwałtownie stygną, oddzielają się od odkształcanego przedmiotu i powodują przyspieszenie zużycia ściernego powierzchni narzędzi. Tlenki te, zawierające głównie twarde cząstki Fe_2O_3 , podczas obróbki stali oddziałują jak materiał ścierny przyspieszając proces zużycia narzędzi, a ścieranie zachodzi najintensywniej w miejscach największych nacisków i przemieszczeń materiału kształtowanego względem powierzchni narzędzia, np. w obszarze przejścia wykroju w mostek wypływki w matrycach (rys. 66).



Rysunek 66. Schemat ilustrujący miejsca dominujących rodzajów zużycia wykroju matrycy kuźniczej; 1 – ścieranie, 2 – zmęczenie cieplne, 3 – zmęczenie mechaniczne, 4 – odkształcenie plastyczne (według A. Kannappana)