

Влияние на магнитните полета върху якостта на умора при стомана 40X

Ст.н.с.Пд-р.инж.Борис Македонски, доц.д.т.н.инж. Александър Македонски – ТУ – София
доц.д-р.инж. Геннадий Таков – МГУ – София

Резюме: Илюстрирани са накратко известните хипотези за влиянието на магнитните полета върху износоустойчивостта на инструментни и детайли. По-специално внимание е отделено на магнитно-абразивното полиране /МАП/, което се съпровожда винаги с пренамагнитване и на магнитно-импулсното третиране /МИТ/. Приведени са експериментални резултати за увеличаване якостта на умора на пробни тела от Ст40X /термообработени/ и обработени с МАП и при МИТ. Констатирано е завишаване на показателя от 2 до 4 пъти, спрямо необработени пробни тела, като по-добрия резултат дава МИТ. Получени са уравнения на регресия, графично онагледени за най-добрите съчетания на факторите.

Ключови думи: Магнитно-абразивна обработка; магнитно-импулсно третиране; якост на умора.

Промяната на механическите характеристики на стоманите под влияние на магнитните полета е отдавна установен процес. Трябва да отдадем заслуженото на:

- Е.Г.Херберт, който в далечната 1929 година [1] за първи път фиксира промените, които магнитното поле реализира в стомана.
- В 1937 год. А.В.Алексеев използва магнитно въздействие за повишаване твърдостта на инструменти от бързорежещи стомани [2]. В случая се констатира влиянието на магнитно поле при протичане на дифузионните процеси по време на термообработка на тези стомани.

Тези първи публикации възбуждат интереса на изследователите и особено в 60 и 70 години на миналия век, магнитните полета започват да се прилагат при всичките фази съпътстващи режещите инструменти, а именно: по време на тяхната термообработка; при тяхното заточване и презаточване, както и в самия процес на рязане.

Настоящият доклад няма за цел да илюстрира цялостното развитие на този процес, но искаме да отбележим, че редицата промени в микро- и макроструктурата на стоманите под въздействие на различни по вид магнитни полета са безспорен факт. При това, все още има скептици, които не могат да възприемат тези, на пръв поглед, парадоксални промени.

Едни от изследователите на процеса твърдят, че изменението на износоустойчивостта на инструментите се крие в промяната на направлението на топлинните потоци при присъствие на магнитно поле от остатъчното намагнитване на инструмента, което по ефекта на Риги-Ледюк, изменя топлонапрегнатостта на режещия клин. Доколкото магнитно третираните инструменти имат по-висока магнитна проникваемост и по-лесно се намагнитват от токовете на топлинните електродвижещи сили при рязане, то би следвало да приемем тази констатация за увеличената трайност на режещите инструменти. Наистина Г.М. Гаврилов и В.И. Скиданенко [3] констатирали изместване на топлинния поток, при рязане с пластини от Р18 в магнитно поле, на ъгъл до 12° , което е достатъчно за изменение на топлинния баланс в зоната на рязане.

Други изследователи, доц.д-р.инж. Любо Димитров – ВТУ – Русе, констатира разпад на остатъчния аустенит в магнитно поле, появил се от вторичната закалка при презаточване и така обясняват повишената износоустойчивост на инструментите [4].

Твърде задълбочени изследвания на процеса бяха проведени в Държавния университет „Н.И.Лобачевски” в гр. Горки – Русия, под ръководството на С.Н.Постников [10]. Тяхната хипотеза за увеличената износоустойчивост на инструментите, при третирането им с импулсни магнитни полета почива на магнитострикционните напрежения и деформации в елементарните домени. Те водат до микропластични деформации,

които изменят структурата на материалите. Това явление е наречено магнитоострикционно субструктурно уякчаване на феромагнетичите [5].

Наблюдават се и промени в поведението на магнитно-третираните инструменти в процеса на рязане. Промени се коефициента на триене в контакта стружка-инструмент, намалява се налягането върху режещия клин на инструмента, както и температурата на рязане [6, 7].

Аналогични явления са наблюдавани от редица изследователи и при така нареченото пренамагнитване на детайли и инструменти. В случая, пренамагнитването тяло се поставя между полюсите на електромагнит и се привежда /най-често/ във въртеливо движение. Така, за един оборот, всяка елементарна феромагнитна клетка /домен/, се подлага на четирикратна промяна на посоките на действащите върху нея магнитни сили. Това своеобразно „дишане” на елементарните клетки води до подобни на описаните по-горе изменения [6, 8].

Пренамагнитването не е така интензивно по отношение измененията в метала, както магнитно-импулсното третиране, но има безспорни преимущества, особено при обработка на голямогабаритни инструменти и детайли. В този случай то е без конкуренция, защото създаването на голямогабаритни електромагнитни индуктори е нецелезобразно, а често и невъзможно.

При магнитно-абразивното полиране имаме проявление както на пренамагнитване, а така също и чисто механични явления от понижаваната грапавост на повърхностния слой; премахването на вредните опънови напрежения в него, породени от шлифоването; както и елиминирането, до голяма степен, на микропукнатините и други макродефекти в повърхността на полираните детайли или инструменти.

Описаните по-горе изменения в структурата и субструктурата на магнитно обработени феромагнетичи бяха констатирани и от нас при изследването на магнитно-абразивния процес, начинаещ от 1967 година и в последствие, при магнитно-импулсните обработки. Особено задълбочено тези явления бяха изучени в Централния машиностроителен институт ЦМИ – София, Научно-изследователския институт към Комбината по електронна обработка на материалите – София и Техническият университет в София. В последно време се разкриха и редица нови факти, които обогатиха представите ни за физиката на процеса, но успоредно с това възникнаха и редица „бели петна”, чакащи своето обяснение [9].

Естествено възникна въпроса за установяване – как двата процеса: магнитно-абразивното полиране и съпровождащото го пренамагнитване и магнитно-импулсното третиране влияят на уморната якост на металите. Поради по-големите разсейвания в резултатите от подобни експерименти се наложи увеличаване броя на детайлите, третирани при едни и същи условия, за получаване на по-достовърни усреднени резултати. Трябва да се отчете и факта, че тези експерименти са твърде продължителни и изискват не малко средства за провеждането им.

Подготвени бяха две серии пробни тела /тип VIII, съгласно БДС 5297-83/ от стомана 40X, термообработени и шлифовани.

Първата серия пробни тела бяха полирани с феромагнитен кермет ЕБМ40+70 %Fe, с едрина 100-200 μ m, на установка АМО, при охлаждане с 5 % воден разтвор на борьол. Магнитно-абразивното полиране бе извършено по трифакторна схема. Като променливи величини бяха избрани:

- X1 – скорост на въртене на епруветката V, m/s, с нулево ниво V₀ = 1 m/s и интервал на вариране $\lambda V = 0,17$ m/s;
- X2 – магнитна индукция в работната междина B, T, с нулево ниво B₀ = 1 T и интервал на вариране $\lambda B = 0,2$ T и
- X3 – продължителност на полирането t, s, с нулево ниво t = 120 s и интервал на вариране $\lambda t = 60$ s.

Параметърът на оптимизация бяха броя цикли N до счупване на епруветката. Опитните резултати са обработени съгласно [11].

Получи се следното регресионно уравнение, с участието само на значимите коефициенти:

$$N(X_1, X_2, X_3) = (493,88 + 99,25X_1 + 98,37X_2 + 58,19X_3 + 20,37X_1X_2 + 10,12X_1X_3 + 9,62X_2X_3 + 2,55X_1^2 - 12,66X_3^2) \cdot 10^3 \text{ цикли.} \quad (1)$$

При обработката на резултатите се отчиташе дисперсията на неадекватност, както и критерия на Фишер, в

случая $(S_{неадекв.})^2 = 5,066$, а $F = 2,53 < F_{гр} = 6,09$ т.е. моделът е адекватен.

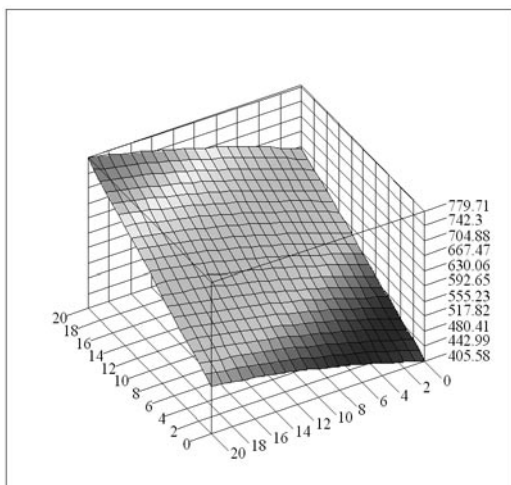
Регресионното уравнение с натурални коефициенти има вида:

$$N(V,B,t) = (154,04 - 311 \cdot V - 203,66B + 0,02t + 599,26VB + 0,99Vt + 0,80Bt + 88,22V^2 - 0,003t^2) \cdot 10^3 \text{ цикли.} \quad (2)$$

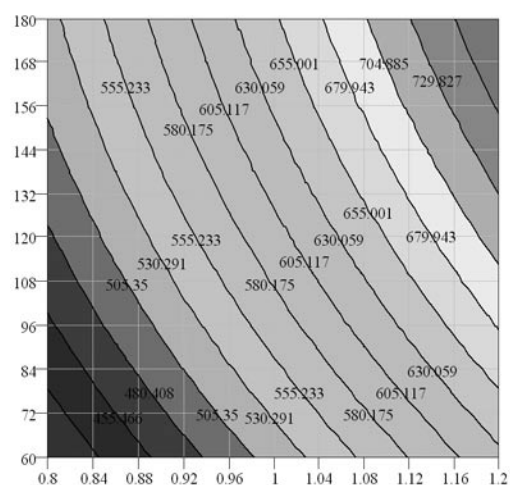
На фигури 1 и 2 са показани графичните интерпретации за най-добрия резултат, при максимална скорост на въртене на епруветката $V = 1,17 \text{ m/s}$. Характеристичната равнина е дуполосен хиперолоид с център. Максималният резултат е $N = 799,71 \cdot 10^3$ цикли. В сравнение с неполираните епруветки, които издържат средно $(350 - 450) \cdot 10^3$ цикли, тук констатираме завишение от 1,37 до 2,23 пъти.

От уравнения 1 и 2 личи силното влияние върху якостта на умора на факторите: скорост на въртене на епруветката и величината на магнитната индукция. Това е лесно обяснимо защото магнитната индукция B пряко определя големината на опъновите сили върху елементарните феромагнитни клетки, докато скоростта на въртене V лимитира честотата на ударите върху тях. Имайки предвид хистерезисните ефекти, може да оприличим скоростта на въртене като опънови импулсни удари върху стените на домена, които сменят посоката си четири пъти за един оборот на пробното тяло. Това обяснява и по-слабото влияние на времето на полиране /пренамагнитване/, тъй като същественото в случая е по-бързата промяна в посоката на действащите магнитни сили, отколкото броят на тези промени.

Заслужава да отбележим факта, че всичките пробни тела бяха разрушени в концентратора, с изключение само на едно, което се счупи в захвата.



N
Фиг. 1



N
Фиг. 2

Втората серия опитни образци беше третирана в магнитно-импулсна установка МИТ430. Тук, като променливи фактори бяха избрани:

- X_1 – напрежението на подавания в индуктора ток U, V , при нулево ниво $U_0 = 200 V$ и интервал на вариране $\lambda U = 40 V$;
- X_2 – честота на импулсите f, Hz , при нулево ниво $f_0 = 4,39 Hz$ и интервал на вариране $\lambda f = 1,46 Hz$;
- X_3 – време на третиране t, s , при нулево ниво $t = 70 s$ и интервал на вариране $\lambda t = 25 s$.

Получи се следното регресионно уравнение в неявен вид:

$$N(X_1, X_2, X_3) = (1164,73 + 206,24X_1 + 271,42X_2 + 129,90X_3 + 48,12X_1X_2 + 22,62X_1X_3 + 29,62X_2X_3 - 2,18X_1^2 - 14,92X_2^2 - 18,45X_3^2) \cdot 10^3 \text{ цикли.} \quad (3)$$

При дисперсия на неадекватност $s^2 = 0,507$ и критерий на Фишер $F = 0,63 < 6,09$ моделът е адекватен. Регресионното уравнение с натурални коефициенти има вида:

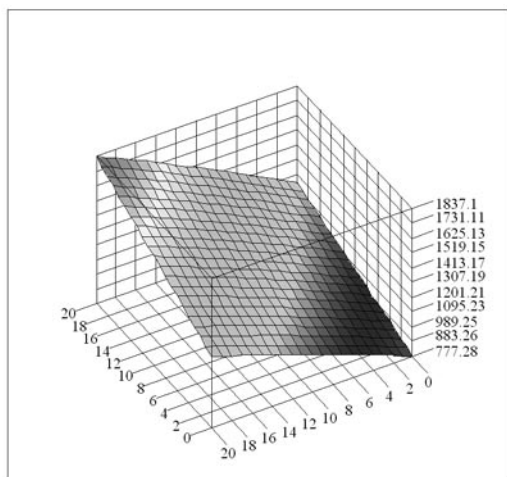
$$N(U, f, t) = (-90,79 + 0,50U + 25,71f + 1,24t + 0,82Uf + 0,02Ut + 0,81ft - 0,001U^2 - 7,00f^2 - 0,03t^2) \cdot 10^3 \text{ цикли} \quad (4)$$

Повърхнината на отклик също е двуполносен хиперболоид.

На фигури 3 и 4 са показани графичните интерпретации за най-добрия резултат, при $X3 = +1$. Видно е, че максималния резултат е $N = 1837.10^3$ цикли, който е с 2,36 пъти по-висок в сравнение с полираните в АМО образци. За апаратите МИТ430 е характерно генерирането на мощни магнитни импулси с изключително стръмен преден фронт, което предопределя силата на магнитния удар върху домените. В случая най-силно влияние имат напрегнатостта на полето и честотата на импулсите. Нещо повече, 70 % от пробните тела се разрушават в захвата, 15 % в концентратора и 15 % останаха неразрушени до приключване на експеримента. Този факт е твърде показателен и говори за повърхностния ефект на магнитно-импулсното третиране. Слабост, която впоследствие коригирахме с въвеждането на ултразвукови трептения в детайла при третиране с магнитни полета. Шлифованата повърхнина на пробните тела, пластично се деформира в захватите на машината „UBM“, на дълбочина няколко десети от милиметъра и става по-податлива на уморното натоварване, отколкото уякчения концентратор. Като независимо от това общия ефект на уякчаване е твърде значим. Този „парадокс“ не се получи при полираните в АМО инструменти, защото там захватите лягат върху полирана повърхнина на по-голяма площ и без особена пластична деформация.

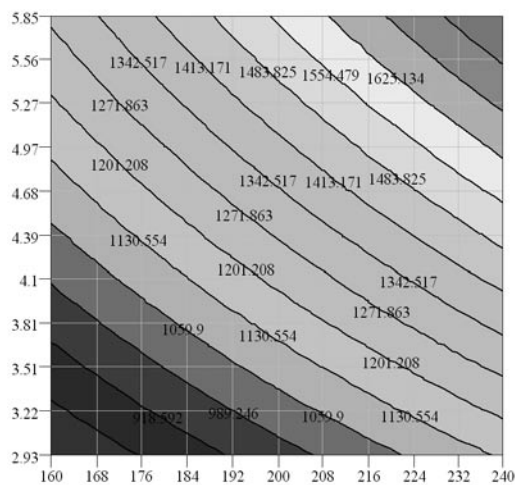
Изводи:

1. Магнитно-импулсното третиране и магнитно-абразивното полиране, респ. пренамагнитване чувствително повишават якостта на умора за стомана Ст40X – термообработена.
2. Магнитно-импулсното третиране дава над два пъти по-изразен резултат.
3. И двата процеса променят структурата на повърхностния слой, изменят напреженията в него и блокират субмикродефектите, в които се зараждат уморните явления.



N 1000

Фиг. 3



N 1000

Фиг. 4

Литература:

1. Herbert E.G. Iron and Stell Institute, V 120, № 2, 1929, p.239.
2. Алексеев А.В. Магнитнотермическая обработка быстрорежущей стали, как новая возможность улучшения качества инструмента. Вестник металлопромышленности, 1937, № 16-17, с. 118-129.
3. Гаврилов Г.М., Скиданенко В.И. Температурное поле стальных пластины в магнитном поле, Трудов Саратовского университета . Теплофизика технологических процессов. Саратов, 1975, вып. 1, с. 135-143.
4. Димитров Л. Влияние на намагнитването на режущия инструмент върху трайността му. „Селскостопанско машиностроене и механизация на селското стопанство“, София, Земиздат, 1971, свитък II, с. 65-71, 73-80.
5. Постников С.Н., Сидоров В.П., Иляхинский А.В. Перестройка дефектных комплексов в кристаллических твердых телах под действием магнитных полей допороговых энергии. „Прикладные проблемы прочности и пластичности. Станки и динамика деформированных систем“, Горький, 1980, с. 138-143.

6. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. Ленинград, „Машиностроение”, 1986.
7. Македонски А.И., Б.Г.Македонски Влияние на комбинираната енергийна обработка върху някои от зависимите променливи при процеса на рязане. Четвърти научно-технически семинар по „Неконвенционални технологии в машиностроенето”, АМО,89, Ботевград, Сборник доклади том II, с. 322-330.
8. Македонски Б.Г. Високоэффективно полиране в магнитно поле Сп. „Машиностроене”, кн. 7, 1979, с. 321-324.
9. Македонски А.И. Електрофизична технология за повишаване износоустойчивостта на феромагнитни материали. Дисертация д.т.н. София, 2005.
10. Постников С.Н. Электрические явления при трении и резании. Волго-Вятское книжное издательство, Горький, 1975.
11. Георгиев Д.С. Методика за последователно теоретично-експериментално моделиране на обекти. Годишник на ТУ Варна. Годишна сесия с международно участие 11-13 октомври 2001. Сборник доклади, с. 189-196, ISSN 1311-896X.